TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* KELANGSINGAN TINGGI MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN

EXPERIMENTAL STUDY OF SQUARE HOLLOW SECTION HIGH SLENDERNESS ROOF TRUSS WITH VARIATIONS NUMBER OF CONNECTION BOLTS

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Taufiq Wahyu Hidayat
18511206

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2022

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* KELANGSINGAN TINGGI MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN

EXPERIMENTAL STUDY OF SQUARE HOLLOW SECTION HIGH SLENDERNESS ROOF TRUSS WITH VARIATIONS NUMBER OF CONNECTION BOLTS

TAUFIQ WAHYU HIDAYAT
18511206

Menyetujui:
Dosen Pembimbing

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
Tanggal : 23/08/'22

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* KELANGSINGAN TINGGI MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN

EXPERIMENTAL STUDY OF SQUARE HOLLOW SECTION HIGH SLENDERNESS ROOF TRUSS WITH VARIATIONS NUMBER OF CONNECTION BOLTS

Disusun oleh

Taufiq Wahyu Hidayat
18511206

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana
Teknik sipil

Diuji pada tanggal 12 Agustus 2022
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.	**Astriana Hardawati S.T., M.Eng.**	**Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.**
NIK: 155111305	**NIK: 165111301**	**NIK: 155111306**

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Proposal Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Proposal Tugas Akhir yag saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Proposal Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian- bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 8 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,

Taufiq Wahyu Hidayat

(18511206)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP SQUARE HOLLOW SECTION KELANGSINGAN TINGGI MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik SIpil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
2. Bapak dan ibu penulis yang telah banyak berkorban materi serta selalu memberikan motivasi dan doa hingga selesainya Tugas Akhir ini.
3. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan masukan dan dukungan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
4. Rekan-rekan Teknik Sipil yang selalu memberikan saran dan bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Akhir kata Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta,
Penulis,

Taufiq Wahyu Hidayat
18511206

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i

HALAMAN PENGESAHAN ii

HALAMAN PERNYATAAN iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR LAMPIRAN xv

ABSTRAK xvii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1 Kajian *Stress ratio* Pada Direct *Analysis Method* dan *Effective Length Method* Sesuai dengan AISC 2010 4

2.2 *Comparison Study of Effective Length Method (ELM) and Direct Analysis Method (DAM) for Piperack* 5

2.3 Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analisys Method* (DAM) 5

2.4 *Comparative Study of Direct Analysis Method and Effective Length Method*

on Structural Steel Piperack Using STAAD Pro V8i Software 6
2.5 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu 6
BAB III LANDASAN TEORI 12
3.1 Struktur Rangka Atap 12
3.2 Sifat Mekanik Baja 12
3.3 *Direct Analysis Method* (DAM) 15
3.3.1 Pengaruh Orde Ke- 2 (PΔ & P-δ) 16
3.3.2 Pengaruh Cacat Bawan (*Initial Imperfection*) 17
3.3.3 Penyesuaian Kekakuan 17
3.3.4 Kemampuan SAP2000 Melakukan Analisis P-Delta 18
3.4 Batang Tekan 19
3.4.1 Kelangsingan 19
3.4.2 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui 21
3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk 21
3.5 Kuat nominal penampang 26
3.6 Kuat Lentur Profil 27
3.7 Desain Sambungan Baja 28
3.8 Kapasitas Sambungan Struktur Baja 29
3.8.2 Kuat Tumpu Baut 30
3.8.3 Kuat Geser Baut 31
BAB IV METODE PENELITIAN 32
4.1 Gambaran Umum 32
4.2 Jenis Data penelitian 32
4.3 Uji Tarik Material Baja 33
4.3.1 Bahan Uji 33
4.3.2 Alat Uji 33

4.3.3 *Set Up* Pengujian 35
4.4 Uji Geser Baut 35
4.4.1 Bahan Uji 35
4.4.2 Peralatan Pengujian 35
4.4.3 Set Up Pengujian 36
4.5 Perhitungan Desain Rangka Atap 37
4.5.1 Menghitung Prediksi Kapasitas Tekan Batang Tekan Variasi 1 Baut Sambungan Menggunakan ELM Dengan Dimensi Rencana. 38
4.5.2 Menghitung Prediksi Kapasitas Tekan Batang Tekan Variasi 3 Baut Sambungan Menggunakan ELM 40
4.5.3 Desain Dimensi Dan Jarak Antar Baut Pada Sambungan Rangka Atap 43
4.5.4 Desain Gambar Rencana Rangka Atap Menggunakan AutoCad 45
4.6 Pembuatan Benda Uji Rangka Atap 45
4.7 Uji Tekan Rangka Atap 46
4.7.1 Benda Pengujian 46
4.7.2 Peralatan Pengujian 46
4.7.3 *Set Up* Pengujian 48
4.8 *Direct Analysis Method* Menggunakan SAP2000 49
4.9 Tahap Pembahasan dan Penarikan Kesimpulan 50
4.10 *Flowchart* Penelitian 51
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 53
5.1 Uji Kuat Tarik Material Baja 53
5.2 Uji Geser Baut 56
5.3 Perhitungan Ulang Kapasitas Tekan Menggunakan ELM Menggunakan Data Hasil Uji Lab 59
5.3.1 Kapasitas Tekan Analisis ELM Rangka Atap Variasi 1 Baut 59
5.3.2 Kapasitas Tekan Analisis ELM Rangka Atap Variasi 3 Baut 62

5.4 Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap 65
5.4.1 Uji Tekan Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut 65
5.4.2 Uji Tekan Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut 67
5.5 Pemodelan Rangka Atap Untuk Analisis DAM SAP2000 72
5.5.1 Pemodelan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 73
5.5.2 Pemodelan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan 81
5.5.3 Pembahasan Perbandingan Tingkat Akurasi Hasil DAM SAP2000 dan ELM Terhadap Hasil Uji Lab 90
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 93
6.1 Kesimpulan 93
6.2 Saran 93
DAFTAR PUSTAKA 94
LAMPIRAN 96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan 8

Tabel 2.2 Lanjutan Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan 9

Tabel 2.3 Lanjutan Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan 10

Tabel 2.4 Lanjutan Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan 11

Tabel 3.1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial 23

Tabel 3.2 Prosedur desain balok lentur profil kotak 27

Tabel 3.3 Dimensi Lubang Nominal 28

Tabel 3.4 Jarak Tepi Minimum Dari Pusat Lubang Standar Ke Tepi Bagian Yang Disambung 29

Tabel 5.1 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 73 sampai 80 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 79

Tabel 5.2 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 81

Tabel 5.3 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 41 sampai 50 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan 88

Tabel 5.4 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan 90

Tabel 5.5 Rekapitulasi Angka Error ELM Dan DAM SAP2000 Uji Tekan Rangka Atap Terhadap Hasil Uji Laboratorium 91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Komponen Penyusun Rangka Atap 12

Gambar 3.1 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan 15

Gambar 3.2 Pengaruh Orde ke-2 16

Gambar 3.3 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta 19

Gambar 3.4 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai *KL/r* 21

Gambar 3.5 Batang Tekuk 24

Gambar 3.6 Sambungan Baut Dengan Pelat Baja 30

Gambar 4.1 Benda Uji Tarik Pelat Baja 33

Gambar 4.2 Alat Ukur *Roll meter* 34

Gambar 4.3 Universal Testing Material 34

Gambar 4.4 *Set Up* Pengujian Tarik Material 35

Gambar 4.5 Jangka Sorong 36

Gambar 4.6 Alat Uji Geser Baut 36

Gambar 4.7 *Set Up* Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Depan 37

Gambar 4.8 Set Up Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Atas 37

Gambar 4.9 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 39

Gambar 4.10 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pembebanan 1kN 40

Gambar 4.11 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 42

Gambar 4.12 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pembebanan 1kN 43

Gambar 4.13 Desain Sambungan Rangka Atap Variasi 1 Baut 44

Gambar 4.14 Desain Sambungan Rangka Atap Variasi 3 Baut 44

Gambar 4.15 Potongan Pada Sambungan Baut 44

Gambar 4.16 Dimensi Akhir Setelah PemodelanAutoCad Variasi 1 Baut Sambungan 45

Gambar 4.17 Dimensi Akhir Setelah PemodelanAutoCad Variasi 3 Baut Sambungan 45

Gambar 4.18 *Strain Gauge* 46

Gambar 4.19 Load Cell 47

Gambar 4.20 LVDT 47

Gambar 4.21 *Hydraulic Jack* 48

Gambar 4.22 *Loading Frame* 48

Gambar 4.23 *Set Up* Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap Tampak Samping 49

Gambar 4.24 Tampak Depan *Set Up* Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap 49

Gambar 4.25 *Flowchart* DAM SAP2000 50

Gambar 4.26 *Flowchart* Penelitian 52

Gambar 5.1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja 53

Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1 54

Gambar 5.3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2 54

Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3 55

Gambar 5.5 Offset 0,2% 55

Gambar 5.6 Kondisi Baut Sampel 1 Setelah Pengujian 57

Gambar 5.7 Kondisi Baut Sampel 2 Setelah Pengujian 58

Gambar 5.8 Kondisi Baut Sampel 3 Setelah Pengujian 58

Gambar 5.9 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 61

Gambar 5.10 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pembebanan 1kN 61

Gambar 5.11 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 64

Gambar 5.12 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pembebanan 1kN 64

Gambar 5.13 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap 1 Baut Sambungan Sampel 1 65

Gambar 5.14 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap 1 Baut Sambungan Sampel 2 66

Gambar 5.15 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 1 66

Gambar 5.16 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 2 67

Gambar 5.17 Ilustrasi Momen Yang Terjadi Pada Rangka Atap 67

Gambar 5.18 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 03, 05, 07, 08 Sambungan 3 Baut Sampel 1 68

Gambar 5.19 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 01, 02, 03, 04 Sambungan 3 Baut Sampel 1 69

Gambar 5.20 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 03, 04, 05, 06, 07, 08 Sambungan 3 Baut Sampel 1 69

Gambar 5.21 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 03, 05, 07, 08 Sambungan 3 Baut Sampel 2 70

Gambar 5.22 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 01, 03, 04, 05, 06, 07 Sambungan 3 Baut Sampel 2 71

Gambar 5.23 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 1 72

Gambar 5.24 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut

Sampel 2 72

Gambar 5.25 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pada SAP2000 73

Gambar 5.26 Grafik Kalibrasi P-Delta SAP2000 Menggunakan Beban Puncak Hasil Uji Lab Dan Hasil Perhitungan Rangka Atap Variasi 1 Baut 74

Gambar 5.27 Memasukan Beban National Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 75

Gambar 5.28 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 76

Gambar 5.29 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 77

Gambar 5.30 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 78

Gambar 5.31 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 80

Gambar 5.32 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pada SAP2000 82

Gambar 5.33 Grafik Kalibrasi P-Delta SAP2000 Menggunakan Beban Puncak Hasil Uji Lab Dan Hasil Perhitungan Rangka Atap Variasi 3 Baut 82

Gambar 5.34 Memasukan Beban National Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan 84

Gambar 5.35 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial 85

Gambar 5.36 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut 85

Gambar 5.37 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan 87

Gambar 5.38 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan 89

Gambar 5.39 Cover Sepatu Pada Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap 92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium 97

Lampiran A.2 Lanjutan Surat Izin Pemakaian Laboratorium 98

Lampiran A.3 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja 99

Lampiran A.4 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik 99

Lampiran A.5 Persiapan Pengujian Geser Baut 100

Lampiran A.6 Set up Uji Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut 100

Lampiran A.7 Set up Pengujian Rangka Atap Variasi 3 Baut 101

Lampiran A.8 Kondisi Rangka Atap Setelah Pengujian Tekan 101

Lampiran B.1 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut 102

Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 1 102

Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 2 103

Lampiran B.4 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut 104

Lampiran B.5 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 1 105

Lampiran B.6 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 2 106

ABSTRAK

Pada SNI 1729:2020 terdapat metode analisis yang baru untuk batang tekan yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) menggunakan analisis *nonlinear geometri-elastic* melengkapi metode sebelumnya yaitu *Effective Length Method* (ELM) yang menggunakan analisis *elastic-linear*. Maka dari itu diperlukan verifikasi mengenai akurasi dari kedua metode tersebut terhadap hasil uji laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan pengujian rangka atap *square hollow section* (SHS) kelangsingan tinggi dengan variasi 1 baut dan 3 baut sambungan untuk memverifikasi tingkat akurasi metode DAM dan ELM. Dari pengujian tersebut dapat diperoleh nilai kuat tekan maksimum rangka atap secara *actual* yang kemudian dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan DAM dan ELM serta untuk melihat pengaruh jumlah baut sambungan terhadap akurasi metode DAM dan ELM. Hasilnya,nilai error metode DAM pada variasi 1 baut sebesar 27% dan ELM sebesar 18,63%. Adapun pada variasi 3 baut nilai error metode DAM sebesar -3,85 % dan ELM sebesar -23,7%. Maka dapat disimpulkan metode DAM lebih akurat pada variasi 3 baut sedangkan metode ELM lebih akurat pada variasi 1 baut.

Kata kunci : Rangka Atap, *Direct Analysis Method*, *Effective Length Method*, Rangka Atap, Kapasitas tekan

ABSTRACT

In SNI 1729:2020 there is a new analytical method for compression members, namely the Direct Analysis Method (DAM) using geometric-elastic nonlinear analysis replacing the previous method, namely the Effective Length Method (ELM) which uses linear-elastic analysis. Therefore, it is necessary to verify the accuracy of the two methods against the results of laboratory tests. In this study, a high slenderness square hollow section (SHS) roof truss was tested with variations of 1 bolt and 3 connection bolts to verify the accuracy of the DAM and ELM methods. From these tests, it can be obtained the actual maximum compressive strength of the roof truss which is then compared with the results of the analysis using DAM and ELM and to see the effect of the number of connecting bolts on the accuracy of the DAM and ELM methods. So the error value of the DAM method on the variation of 1 bolt is 27% and ELM is 18.63%. As for the variation of 3 bolts, the error value of the DAM method is -3.85% and ELM is -23.7%. So it can be concluded that the DAM method is more accurate on the variation of 3 bolts while the ELM method is more accurate on the variation of 1 bolt.

***Keywords**: Roof Frame, Direct Analysis Method, Effective Length Method, Compressive Rod, Compressive Capacity*

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dari masa ke masa terus berkembang ke arah yang lebih canggih, perkembangan teknologi ini didasari oleh inovasi dan kreativitas manusia seiring perkembangan zaman untuk memenuhi kebutuhan manusia yang semakin kompleks. Dengan adanya akala tau pemikiran yang dimiliki manusia menghasilkan suatu produk yaitu teknologi yang dapat berebentuk suatu alat maupun metode yang dibuat dengan tujuan agar dapat digunakan untuk mempermudah pekerjaan manusia.

Rangka atap merupakan suatu komponen yang penting dalam suatu bangunan yang memiliki fungsi untuk menopang tekanan atap dan menyalurkan tekanan bangunan ke struktur lainnya yang berada dibawahnya. Pada perencanaan struktur rangka atap baja harus direncanakan sesuai dengan SNI 1729:2020 yang mengacu dari *American Institute of Steel Contruction* (AISC 2010). Terdapat metode analisis terbaru yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) adalah suatu metode untuk mengatasi keterbatasan analisa struktur elastik yang tidak dapat memperhitungan stabilitas secara langsung yang melengkapi metode analisis sebelumnya yaitu *Effective Length Method* (ELM).

Terdapat perbedaan antara ELM dan DAM yaitu pada DAM dapat menganalisis perhitungan kondisi non geometri (*imperfection*), kondisi *elastic* (nonlinier material) dan analisis orde 2 (pengaruh deformasi) yang pada metode ELM tidak diperhitungkan. DAM lebih efisien karena nilai K juga telah ditentukan K=1 akan tetapi tetap memperhitungkan efek P-delta nya, sedangkan ELM nilai K ditentukan dari jenis kondisi ujung elemen batang. Pembebanan pada struktur dapat ditentukan lebih akurat pada DAM karena pengaruh ketidaksempurnaan batang dan reduksi kekakuan sudah diperhitungkan selama proses analisa struktur (Dewobroto Wiryanto, 2011).

Dalam Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari *Direct Analysis Method* (DAM) yang merupakan metode perencanaan untuk struktur baja di Indonesia yang tercantum pada peraturan konstruksi struktur baja SNI 1729:2020 dengan pengujian secara langsung di laboratorium, Adapun benda uji yang digunakan yaitu rangka atap *square hollow section* kelangsingan tinggi dengan variasi 1 baut dan 3 baut sambungan, digunakan profil SHS kelangsingan tinggi karena pada penelitian sebelumnya metode DAM cukup akurat pada profil baja kelangsingan tinggi namum belum ada pengujian mengenai rangka atap (Dewobroto, 2016). Digunakan variasi 1 baut dan 3 baut sambungan karena 1 baut untuk memodelkan sendi sempurna sedangkan 3 baut itu sesuai kondisi dilapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan pada latar belakang penelitian yang akan dilakukan, maka secara garis besar perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat akurasi metode DAM pada rangka atap SHS kelangsingan tinggi dengan sambungan 1 baut dan 3 baut ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah baut terhadap akurasi metode DAM pada rangka atap SHS kelangsingan tinggi ?
3. Bagaimana perbandingan akurasi antara DAM dan ELM terhadap hasil uji laboratorium ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang diperoleh dari rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui tingkat akurasi metode DAM pada rangka atap SHS kelangsingan tinggi dengan sambungan 1 baut dan 3 baut ?
2. Mengetahui pengaruh jumlah baut terhadap akurasi metode DAM pada rangka atap SHS kelangsingan tinggi ?
3. Mengetahui perbandingan akurasi antara DAM dan ELM terhadap hasil uji laboratorium ?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui akurasi hasil metode analisis langsung atau *Direct Analysis Method* (DAM) yang tercantum pada pada peraturan kosntruksui struktur baja SNI 1729:2020 dengan hasil perhitungan dengan pengujian secara langsung di laboratorium. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi maupun referensi mengenai struktur rangka atap baja yang berdasarkan pada SNI 1729:2020.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan pada penelitian ini bertujuan agar tidak menyimpang dari tujuan penelitian yaitu sebagai berikut

1. Menggunakan program SAP 2000 untuk analisis struktur dan aplikasi Microsoft Excel pada perhitungan manual.
2. Benda uji pada penelitian perbandingan ini berupa struktur rangka atap baja kotak dengan dimensi 1,5x3,0 cm dengan ketebalan 1,8 mm.
3. Terdapat Variasi pada jumlah baut sambungan 1 baut dan 3 baut dengan diameter 8 mm.
4. Terdapat variasi pada benda uji berupa sambungan pelat ganda dan baut tunggal .
5. Hasil nilai *error* kuat tekan hasil DAM dan ELM Terhadap hasil uji laboratorium menjadi pembanding pada kedua metode yang digunakan.
6. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Kekuatan dan Ketahanan (DFBK)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian *Stress ratio* Pada Direct *Analysis Method* dan *Effective Length Method* Sesuai dengan AISC 2010

Vanbreda & Daniel Rumbi Teruma (2016) melakukan penelitian yang berjudul "*Kajian Stress ratio Pada Direct Analysis Method dan Effective Length Method Sesuai dengan AISC 2010".* Tujuan dari penelitian ini yaitu Untuk memberikan informasi berupa gambaran kepada pembaca tentang *Effective Length Method (ELM) dan Direct Analisys Method (DAM)* tersebut sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien dalam pembangunan ruko yang menggunakan profil baja di kota Medan. Dalam penelitian ini perhitungan nilai stress ratio dilakukan pada struktur 2 dimensi portal 4 lantai *unbraced frame* dengan mutu baja yang dipakai adalah BJ41. Analisa struktur untuk ELM menggunakan metode matriks kekakuan. Pada analisa struktur dengan metode DAM dimasukkan persyaratan yang dikeluarkan oleh AISC 2010. Hasil dari penelitian ini Dari hasil tersebut, didapatkan suatu kesimpulan, bahwa Direct Analysis Method (DAM) merupakan metode yang lebih ekonomis dari segi ukuran profil jika dibandingkan dengan Effective Length Method (DAM). Hal ini dikarenakan nilai stress ratio untuk Direct Analysis Method (DAM) lebih kecil daripada Effective Length Method (ELM). Perbedaan stress ratio untuk kedua metode bervariasi antara 0,5-28%. Meskipun pada kasus portal 4 lantai ini tidak menunjukkan status kolom maupun balok yang berbeda, namun jika dilakukan desain ulang untuk mencapai nilai stress ratio mendekati 1, maka ada kemungkinan profil yang dinyatakan aman oleh Direct Analysis Method (DAM), dinyatakan tidak aman oleh Effective Length Method (ELM) sehingga pada Effective Length Method (ELM), perlu diperbesar profilnya. Hal ini berarti bahwa struktur untuk Effective Length Method mempunyai penampang yang lebih besar.

2.2 *Comparison Study of Effective Length Method (ELM) and Direct Analysis Method (DAM) for Piperack*

Mahduri Sabade (2017) melakukan sebuah penelitian yang berjudul *"Comparison Study of Effective Length Method (ELM) and Direct Analysis Method (DAM) for Piperack"* . Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis *piperack*, membandingkan hasil dari analisis antara *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method* (DAM). Dalam penelitian ini telah dilakukan penelitian pada struktur *piperack* untuk membandingkan metode-metode tersebut menggunakan program analisis struktur 3D STAAD.Pro V8i dengan mempertimbangkan persyaratan umum seperti pengaruh efek orde kedua (efek P-Δ dan P-δ), deformasi lentur, geser dan aksial, ketidaksempurnaan geometrik dan pengurangan kekakuan batang akibat tegangan sisa. Hasil penelitian ini disimpulkan bahwa *Direct Analysis Method* (DAM) lebih akurat dalam analisis stabilitas *piperacks*. *Effective Length Method* (ELM) memberikan jawaban yang relatif akurat selama persyaratannya terpenuhi. *Direct Analysis Method* (DAM) memberikan hasil yang paling akurat dan tidak memiliki keterbatasan dalam penggunaannya. *Direct Analysis Method* (DAM) juga dapat menjadi metode paling efisien untuk diaplikasikan jika analisis software berbasis komputer digunakan sebagai perhitungan tak terhingga atau diperlukan sebagai verifikasi setelah analisis.

2.3 Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analisys Method* (DAM)

Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019) melakukan penelitian yang berjudul "*Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan Effective Length Method (ELM) dan Direct Analisys Method (DAM)".* Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan *stress ratio* portal baja antara *Effective Length Method* (ELM) dan Direct Analisys Method (DAM). Dari hasil penelitian ini diperoleh perbandingan nilai *stress ratio* yang dihasilkan dengan dua metode yang berbeda. Penelitian ini terdiri dari tahapan

desain dan proses analisa. Proses Analisa dilakukan dengan metode DAM dan metode ELM. Kemudian dilakukan perbandingan hasil nilai *stress ratio* yang didapatkan. Hasil dari metode ELM memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode DAM dengan perbandingan bervariasi antara 0,1% - 8,9%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa DAM metode yang lebih efektif, seederhana dan menghasilkan kapasitas profil yang lebih efisien dibanding ELM sehingga profil yang digunakan dapat lebih hemat.

2.4 *Comparative Study of Direct Analysis Method and Effective Length Method on Structural Steel Piperack Using* STAAD Pro V8i Software

Ma'ruf Amin (2021) melakukan penelitian yang berjudul "*Comparative Study of Direct Analysis Method and Effective Length Method on Structural Steel Piperack Using STAAD Pro V8i Software".* Yang bertujuan untuk membandingkan hasil *Direct Analysis Method* dan *Effective Length Method* pada struktur rangka baja *piperack* menggunakan aplikasi STAAD Pro V8i. metode penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data lalu *literatur review* , desain serta *structure modelling* , lalu menginput beban dan parameter desain ke DAM dan ELM. Hasil dari penelitian ini yaitu Hasil analisis yang membandingkan antara kedua metode tersebut adalah rasio elemen struktur, lendutan balok, simpangan kolom akibat angin dan simpangan kolom akibat gempa. Berdasarkan hasil analisis menggunakan software STAAD Pro V8i, DM menghasilkan struktur yang lebih konservatif. DM menghasilkan rasio komponen struktur 1,04% lebih besar, lendutan balok 24,5% lebih besar, simpangan kolom akibat angin 9% lebih besar dan simpangan kolom akibat gempa 26% lebih besar daripada metode ELM.

2.5 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Terdapat perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan, pada penelitian terdahulu melakukan penelitian yang bertujuan untuk membandingkan hasil analisis menggunakan metode *Direct Analysis Method* (DAM) dengan *Effective Length Method* (ELM) dengan menggunakan portal dan *piperack* namun tidak dibandingkan dengan hasil pengujian seacara langsung

menggunakan benda uji di laboratorium. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan akurasi metode DAM dan ELM dengan pengujian di laboratorium struktur rangka atap baja kelangsingan tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.1 sampai tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Penelitian Terdahulu					**Penelitian yang Akan Dilakukan**
Peneiti	**Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)**	**Mahduri Sabade (2017)**	**Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)**	**Ma'ruf Amin (2021)**	**Taufiq Wahyu Hidayat (2022)**
Judul Penelitian	Kajian *Stress ratio* Pada *Direct Analysis Method* dan *Effective Length Method* Sesuai dengan AISC 2010	*Comparison Study of Effective Length Method (ELM) and Direct Analysis Method (DAM) for Piperack*	Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analisys Method* (DAM)	*Comparative Study of Direct Analysis Method and Effective Length Method on Structural Steel Piperack Using* STAAD Pro V8i *Software*	Studi Eksperimental Rangka Atap *Square hollow section* Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan

Tabel 2.2 Lanjutan Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneiti	**Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)**	**Mahduri Sabade (2017)**	**Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)**	**Ma'ruf Amin (2021)**	**Taufiq Wahyu Hidayat (2022)**
Tujuan	Memberikan informasi berupa gambaran kepada pembaca tentang *Effective Length Method (ELM) dan Direct Analisys Method (DAM)* tersebut sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien.	Menganalisis dan membandingkan hasil dari analisis antara Effective Length Method (ELM) dan Direct Analysis Method (DAM).	Mengetahui hasil perbandingan *stress ratio* portal baja antara *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analisys Method* (DAM)	Untuk membandingkan hasil Direct Analysis Method dan Effective Length Method pada struktur rangka baja piperack menggunakan aplikasi STAAD Pro V8i	Untuk mengetahui perbandingan hasil pengujian pada struktur rangka atap baja dengan kelangsingan tinggi menggunakan DAM pada SNI 1729:2020 dengan pengujian di laboratorium.
Parameter Penelitian	*Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress ratio.*	*Effective Length Method* (ELM), *Direct Analysis Method* (DAM), 3D STAAD.Pro V8i	*Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress Ratio*	*Effective Length Method* , *Direct Analysis Method* , 3D STAAD.Pro V8i	*Direct Analysis Method,* Jumlah Pelat Sambung, Ratio kelangsingan tinggi, hasil laboratorium

Tabel 2.3 Lanjutan Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneiti	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Mahduri Sabade (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Ma'ruf Amin (2021)	Taufiq Wahyu Hidayat (2022)
Metode Penelitian	Dalam perhitungan nilai stress ratio dilakukan pada struktur 2 dimensi portal 4 lantai *unbraced frame* dengan mutu baja yang dipakai adalah BJ41. Analisa struktur untuk ELM menggunakan metode matriks kekakuan. Pada analisa struktur dengan metode DAM dimasukkan persyaratan yang dikeluarkan oleh AISC 2010.	Terdiri dari tahapan desain dan proses analisa. Menggunakan 3D STAAD.Pro V8i yang dapat digunakan untuk *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method* (DAM). Lalu membandingkan antara hasil keduanaya hingga diperoleh kesimpulan	Terdiri dari tahapan desain dan proses analisa. Proses Analisa dilakukan dengan metode DAM dan metode ELM. Kemudian dilakukan perbandingan hasil nilai *stress ratio* yang didapatkan	Dimulai dengan mengumpulkan data lalu literatur review , desain serta structure modelling , lalu menginput beban dan parameter desain ke *Direct Analysis Method* (DAM) dan *Effective Length Method* (ELM)	Melakukan analisis perbandingan antara hasil pengujian di laboratorium dengan metode *Direct Analysis Method* SNI 1729:2020 pada rangka atap baja dengan kelangsingan tinggi dengan variasi pelat sambung ganda

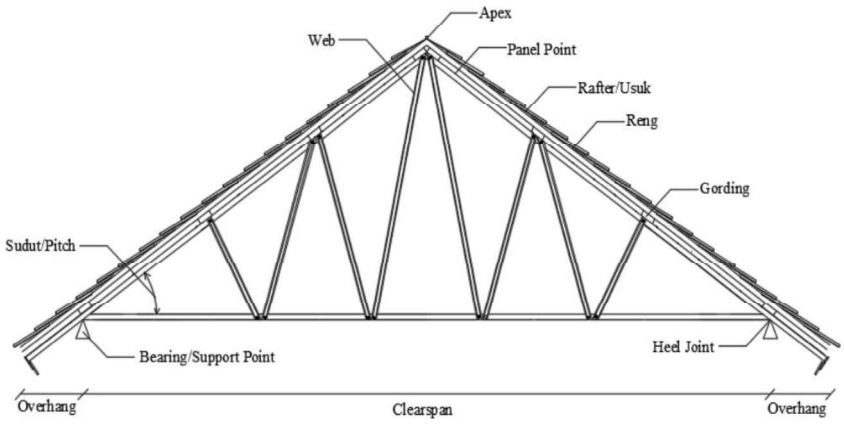
Tabel 2.4 Lanjutan Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneiti	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Mahduri Sabade (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Ma'ruf Amin (2021)	Taufiq Wahyu Hidayat (2022)
Hasil	Direct Analysis Method (DAM) merupakan metode yang lebih ekonomis dari segi ukuran profil jika dibandingkan dengan Effective Length Method (DAM). Hal ini dikarenakan nilai stress ratio untuk Direct Analysis Method (DAM) lebih kecil daripada Effective Length Method (ELM). Perbedaan stress ratio untuk kedua metode bervariasi antara 0,5-28%.	*Direct Analysis Method* (DAM) lebih akurat dalam analisis stabilitas *piperacks*. *Effective Length Method* (ELM) memberikan jawaban yang relatif akurat selama persyaratannya terpenuhi. *Direct Analysis Method* (DAM) memberikan hasil yang paling akurat dan tidak memiliki keterbatasan dalam penggunaannya.	Hasil nilai *stress ratio* balok metode ELM sama dengan metode DAM yaitu 0.625. hasil nilai *stress ratio* kolom metode ELM memiliki nilai yang lebih besar daripada metode DAM dengan selisih 9.6%. Hasil nilai *stress ratio* rafter metode ELM lebih kecil daripada metode DAM dengan selisih 0.9%	Berdasarkan hasil analisis menggunakan software STAAD Pro V8i, DM menghasilkan struktur yang lebih konservatif. DM menghasilkan rasio komponen struktur 1,04% lebih besar, lendutan balok 24,5% lebih besar, simpangan kolom akibat angin 9% lebih besar dan simpangan kolom akibat gempa 26% lebih besar daripada metode ELM.	-

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Struktur Rangka Atap

Salah satu bentuk aplikasi dari sistem rangka yaitu struktur rangka atap yang terdiri dari susunan batang-batang yang disambungkan menjadi satu kesatuan sehingga membentuk suatu struktur yang kuat. Rangka atap pada umumnya berbentuk segitiga yang memiliki fungsi untuk menopang tekanan atap dan diteruskan ke struktur lainnya yang ada dibawahnya. Pada umumnya terdiri dari 3 bagian utama penyusun rangka atap yaitu penutup atap. Gording, dan rangka kuda-kuda. Komponen rangka atap juga terdiri dari elemen lain yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Komponen Penyusun Rangka Atap

3.2 Sifat Mekanik Baja

Baja merupakan logam murni yang terdiri dari perpaduan dengan unsur dasar logam besi dengan zat-zat lainnya. Pada baja terdapat kandungan unsur karbon berkisar antara 0,2%-2,1% berat sesuai dengan kelasnya. Baja memiliki keteguhan yang keras dan ke-liatanya, titik lelehnya 1460°C - 1520° C, berat jenis 7,85 dan

angka pemuaiannya sampai 0,000012 tiap 1° C. Baja merupakan salah satu material yang sering digunakan pada bidang konstruksi karena memiliki sifat dan kekuatan yang cocok sebagai bahan konstruksi. Berikut ini adalah kelebihan dari baja.

1. Memiliki kekuatan yang besar

   Ini adalah keunggulan utama baja dibandingkan material konstruksi yang lain. Baja merupakan salah satu material bangunan yang sangat kuat. Kekuatan yang tinggi per satuan berat ini membuat potensi beban matinya cukup kecil.

2. Memiliki Kuat Tarik yang Baik

   Baja merupakan material yang baik dalam mengahadapi beban tarik sehingga menjadi material yang cocok digunakan sebagai bahan konstruksi.

3. Memiliki Daya Tahan yang Lama

   Daya tahan material baja cukup tahan lama walaupun berada di kondisi apapun, selain itu material baja tidak memiliki cara pemeliharaan khusus dengan itu biaya perawatan baja cukup murah.

4. Memiliki massa yang ringan

   Baja memiliki massa yang ringan sehingga mudah dalam melakukan pemasangan serta pembongkaran.

5. Baik Digunakan Pada Bentang Panjang

   Baja baik digunakan walaupun digunakan pada bentang yang cukup Panjang karena memiliki daya tahan dan kekuatan yang baik.

Seperti halnya material lain, material baja selain memiliki banyak kelebihan namun juga memiliki kekurangan. Berikut ini adalah kekurangan material baja.

1. Biaya Pengadaan yang Besar

   Untuk pengadaan material baja memerlukan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan material lain pada umumnya.

2. Memiliki Kuat Tekan yang Kurang Baik

   Baja termasuk material yang memiliki kerentanan terhadap beban tekan walaupun memiliki kuat tarik yang baik.

3. Memiliki Kerentanan Terhadap tekuk

   Material baja memiliki kerentanan terhadap tekuk atau *buckling,* dengan

penampang yang kecil maka memiliki kelangsingan yang besar sehingga tekuk juga akan semakin besar

Sifat mekanik baja adalah segala sifat yang dimiliki material baja dalam menerima dan memberikan perlawanan kepada beban yang diberikan. Untuk mengetahui sifat mekanik baja dilakukan pengujian tarik, dengan dilakukannya pengujian tarik tersebut akan didapatkan tegangan dan juga regangan.

Tegangan didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja setiap satuan luas penampang. Untuk memperoleh tegangan digunakan persamaan 3.1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{3.1}$$

Keterangan

σ = Tegangan (Mpa)

P = Beban/Gaya aksial (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Regangan adalah perubahan ukuran setelah terjadinya tegangan dibandingkan dengan ukuran sebelumnya. Regangan dapat diperoleh dengan persamaan 3.2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} = \frac{L - Lo}{Lo} \tag{3.2}$$

Keterangan :

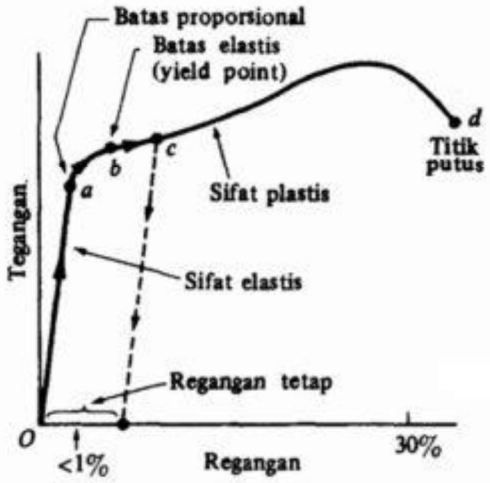
ε = Regangan

Δ_L = Pertambahan Panjang

L = Panjang akhir (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

Hubungan tegangan dan regangan digambarkan menjadi suatu grafik diagram untuk memberikan informasi mengenai sifat atau karakteristik dari suatu bahan. Grafik hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan

Diagram diatas menunjukan hubungan antara tegangan dan regangan, dimana ditunjukan pertambahan panjang pada suatu benda uji disebabkan gaya yang diberikan hingga pada titik batas proposiaonal atau titik a. kemudian terjadi penambahan panjang lagi hingga titik batas elastis atau titik b, dapat kembali ke panjang semula pada benda uji jika gaya yang telah diberikan dilepaskan. Kemudian jika benda uji masih dilakukan pemberian gaya hingga melewati batas elastis maka benda uji tersebut akan memasuki daerah plastis atau titik c dimana benda tidak akan kembali ke panjang awalnya ketika gaya eksternal diberikan sehingga akan berubah bentuk secara permanen. Perpanjangan masih dapat terjadi hingga makksimum ketika mencapai titik patah (titik putus atau titik d).

3.3 *Direct Analysis Method* (DAM)

Direct Analysis Method (DAM) atau metode analisis langsung merupakan analisis khususnya pada struktur baja yang penggunaannya dengan menggunakan *software* berbasis computer. Perencanaan struktur baja yang pada umumnya langsing, diperlukan analisis stabilitas. Hasilnya dipengaruhi adanya *imperfection* (non-linier geometri) dan kondisi inelastis (non-linier material).

Direct Analysis Method (DAM) dibuat dengan tujuan untuk mengatasi keterbatasan *Effective Length Method* (ELM) yang merupakan penyederhanaan analisis cara manual. Akurasi DAM dapat dijadikan rujukan karena menggunakan

aplikasi berbasis komputer, dan mempersyaratkan program analisis struktur yang dipakai, seperti Mampu menganalisis perhitungan deformasi komponen-komponen struktur dan sambungannya yang mempengaruhi deformasi struktur keseluruhan. Deformasi komponen yang berupa deformasi akibat lentur, aksial dan geser. Persyaratan ini cukup mudah, hampir sebagian besar program komputer analisa struktur berbasis metoda matrik kekakuan, apalagi 'metoda elemen hingga' yang merupakan algoritma dasar ana-lisa struktur berbasis komputer sudah memasukkan pengaruh deformasi pada elemen formulasinya (Dewobroto 2013).

3.3.1 Pengaruh Orde Ke- 2 (P$\boldsymbol{\Delta}$ & P-$\boldsymbol{\delta}$)

Pengaruh orde ke-2 perlu diperhitungkan untuk memperoleh gaya-gaya internal batang. Pada umumnya program komersil dapat melakukan analisa struktur orde ke-2, meskipun hasilnya dapat berbeda satu dengan lainnya. karena itu perlu verifikasi terhadap kemampuan program yang dipakai. Ketidaksempurnaan terjadi ketika program ternyata hanya mampu memperhitungkan pengaruh P-Δ saja, tetapi tidak P-δ. Adapun yang dimaksud P-Δ adalah pengaruh pembebanan akibat terjadinya perpindahan titik-titik nodal elemen, sedangkan P-δ adalah pengaruh pembebanan akibat deformasi di elemen (diantara dua titik nodal), seperti terlihat pada Gambar 3.3 di bawah.

P- Δ = Pengaruh beban yang bekerja pada struktur dengan titik nodal bergoyang.

P- δ = Pengaruh beban yang bekerja pada batang antara titik-titik nodal, yang berubah bentuk.

Gambar 3.2 Pengaruh Orde ke-2
(sumber: AISC 2010)

3.3.2 Pengaruh Cacat Bawan (*Initial Imperfection*)

Ketidaksempurnaan ataupun kecacatan bawaan dari elemen struktur contohnya batang yang tidak lurus yang disebabkan proses fabrikasi adanya toleransi konsekuesi pelaksanaan lapangan akan menhasilkan efek *destabilizing.* Dalam *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat du acara untuk mengatasi hal tersebut, pertama dengan melakukan pemodelam langsung cacat pada geometri model, dengan cara memberikan titik nodal batang yang besarnya diperoleh dari toleransi maksimum dengan pola menggeser titik nodal menyerupai pola lendutan maupun pola tekuk hingga dapat memberikan efek *destabilizing.* Untuk cara kedua dengan memberikan sebagian beban national dari beban garvitasi yang bekerja di tiap titik nodal pada setiap levelnya.

Perhitungan pada stabilitas struktur modern berdasarkan pada perhitungan gaya-gaya batang diperoleh dari analisis struktur elastis orde-2, yang kondisi keseimbangan terpenuhi setelah pembebanan atau deformasi. Nilai besar beban national yang diperoleh dari AISC 2010 sebagai berikut.

$$Ni = 0.002\ Yi \tag{3.3}$$

Keterangan :

N_i = Beban national di level *i*

Yi = Beban gravitasi di level *i* hasil beban kombinasi LRFD

0.002 = nilai nominal rasio keiringan tingkat (AISC)

3.3.3 Penyesuaian Kekakuan

Dapat terjadi pelemahan kekuatan disebabkan adanya leleh setempat *(partial yielding)* dampak tegangan residu pada profil baja, syarat tadi menciptakan pengaruh *destabilizing.* Dalam *Direct Analysis Method* (DAM) mampu diatasi dengan menyesuaikan kekakuan struktur yang didapatkan dengan cara kalibrasi perbandingan dengan menganalisis distribusi plastisitas maupun hasil uji test empiris (Galambos 1998). Rumus factor reduksi kekakuan dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

$$EI^* = 0.8\ \tau b\ EI \tag{3.4}$$

Keterangan :

EI* = Modulus elastisitas setelah reduksi kekakuan

τb = Kekakuan lentur

EI = Modulus elastisitas

Apabila kondisi Pr ≤ 0,5Py' dimana Pr adalah gaya tekan perlu hasil LRFD yaitu :

$$\tau b = 1.0 \quad (3.5)$$

Apabila gaya tekannya besar dengan nilai Pr > 0,5Py maka :

$$\tau b = 4 \frac{Pr}{Py}\left(1 - \frac{Pr}{Py}\right) \quad (3.6)$$

Keterangan :

τb = Kekakuan lentur

Pr = Gaya tekan hasil perlu kombinasi LRFD

Py = Kuat tarik lentur

Penggunaan reduksi kekakuan ini ditujukan untuk memperhitungkan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja.

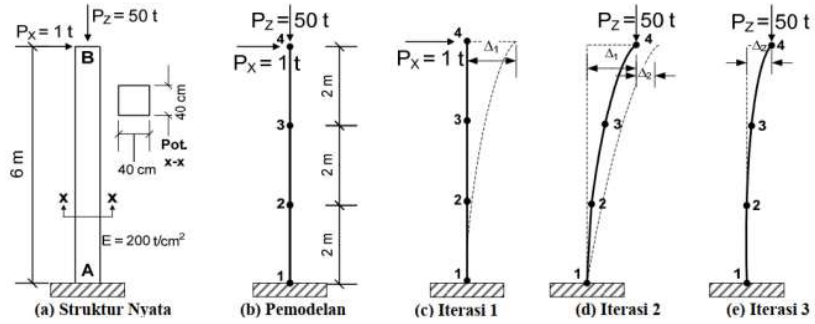
3.3.4 Kemampuan SAP2000 Melakukan Analisis P-Delta

Elemen *frame* pada SAP2000 telah menciptakan formulasi untuk analisis P-Delta. Jika diaktifkan, *software* dapat menghitung pengaruh beban aksial yang besar pada perilaku momen lentur transversal. Gaya aksial tekan akan mengurangi kekakuan lentur (momen bertambah), sedangkan gaya aksial tarik akan memperkaku (momen berkurang).

Walaupun analisis P-Delta dapat dikategorikan sebagai analisis non-linier geometri, namun oleh *software* SAP2000 belum memperhitungkan efek lendutan yang besar. Beberapa asumsi & keterbatasan Analisis P-Delta dalam *software* SAP2000 antara lain:

- Pengaruh P-Delta hanya di analisis pada *element frame* saja.
- Untuk perhitungan P-Delta yang mengakibatkan momen tambahan, hanya dari eksentrisitas akibat deformasi transversal saja.
- Gaya aksial P-Delta dianggap konstan sepanjang elemen
- Geometri struktur sebelum dan setelah dibebani dianggap masih sama.

SAP2000 mampu melakukan analisis P-Delta dengan 2 cara, yang pertama adalah dengan memberikan kombinasi gaya statik yang dihitung oleh komputer secara iterasi, yang kedua adalah dengan cara menetapkan secara langsung (otomatis) gaya aksial pada elemen *frame* melalui menu *Assign → Frame → P-Delta Forces.*



Gambar 3.3 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta

3.4 Batang Tekan

Batang tekan pada umumnya dibentuk sebagai pola segitiga dengan tujuan agar memiliki kestabilan yang baik. Pada struktur rangka batang memikul batang tekan sentris di titik berat penampang dengan gaya aksial. permasalahan yang paling penting untuk dipertimbangkan ketika merancang komponen struktur tekan adalah stabilitas, karena komponen struktur tekan sangat sensitif terhadap faktor-faktor yang dapat menyebabkan perpindahan lateral dan tekuk. Dalam prakteknya, tekuk didefinisikan sebagai batas antara defleksi stabil dan tidak stabil dari komponen struktur tekan. (Salmon Johnson, 1992).

3.4.1 Kelangsingan

Jika terdapat suatu penampang yang menampung beban aksial tekan kekuatannya harus dilakukan reduksi jika penampang tersebut adalah penampang langsing. Rasio antara lebar dengan lebar suatu elemen dinotasikan dengan symbol λ. Dalam suatu batang tekan pendek tidak terjadi tekuk, sedangkan pada batang tekan langsing jika ditemukan pembebanan dengan beban yang sama bisa menghasilkan tekuk sebelum leleh yaitu dengan adanya perpindahan lateral.

Kelangsingan dapat dinyatakan dalam suatu rasio yaitu rasio kelangsingan,

rumus rasio kelangsingan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = \sqrt{\frac{KL}{r}} \quad (3.7)$$

$$r = \frac{I}{A} \quad (3.8)$$

Keterangan :

λ = Rasio kelangsingan

K = Faktor Panjang efektif komponen struktur tekan

L = Panjang struktur tekan yang tidak ditopang

r = Jari-jari putaran potong lintang komponen struktur tekan.

I = Momen inersia penampang struktur tekan

A = Luas penampang struktur tekan.

Terdapat syarat kestabilan yang sangat perlu diperhatikan dalam mendesain komponen struktur tekan, pada komponen tekan yang langsing terdapat bahaya *buckling*. Maka dari itu kelangsingan dibatasi 200 pada elemen struktur tekan. Pada saat mendesain komponen struktur tekan hal yang perlu diperhatikan adalah syarat kestabilannya dikarenakan adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada komponen-komponen tekan yang langsing. Sehingga harga KL/r dibatasi pada 200 untuk elemen struktur tekan. Nilai KL/r yang memisahkan tekuk elastis (perilaku kolom panjang) dari tekuk inelastis (perilaku kolom pendek) ditetapkan secara sembarang sebagai harga dimana tegangan tekuk Euler (fe) sama dengan F_y / 2. Nilai KL/r ini disebut Cc dapat dilihat pada gambar 3.2 ditentukan sebagai berikut:

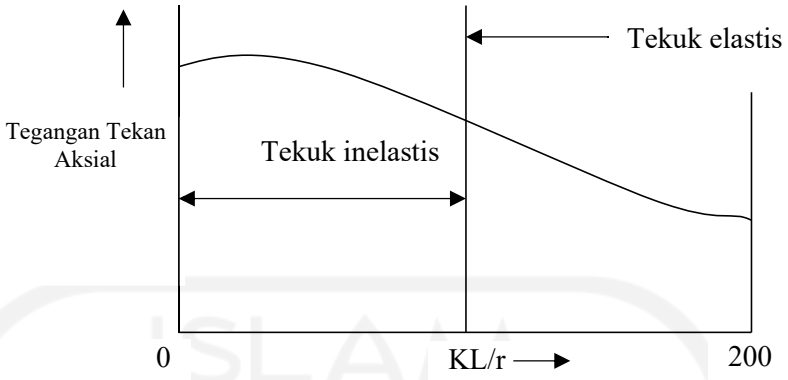
$$C_c = \sqrt{\frac{KL}{r}} = \sqrt{\frac{2\pi r^2}{Fy}} \quad (3.9)$$

Keterangan:

C_c = batas tekuk elastis;

E = modulus elastisitas;

F_y = tegangan leleh.



Gambar 3.4 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai *KL/r*

3.4.2 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Keruntuhan pada luas penampang dapat terjadi dari batang tekan tersebut. Semakin besar luas penampang melintang batang mampu berakibat terhadap kapasitas tekannya juga meningkat. Berdasarkan SNI 1729-2020, persamaan nilai kuat tekan dapat didapatkan sebagai berikut:

$$Pn = Fcr \times Ag \tag{3.10}$$

Penentuan fcr yaitu

Bila $\frac{Lc}{r} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ maka

$$Fcr = \left(0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy \tag{3.11}$$

Bila $\frac{Lc}{r} \geq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ maka

$$Fcr = 0{,}877\ Fe \tag{3.12}$$

Keterangan :

Ag = Luas penampang melintang bruto
E = Modulus elastisitas baja
Fe = Tegangan tekuk elastis
Fy = Tegangan leleh minimum terspesifikasi tipe baja yang digunakan
r = radius girasi

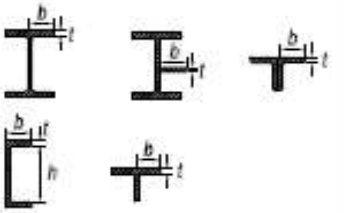
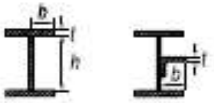
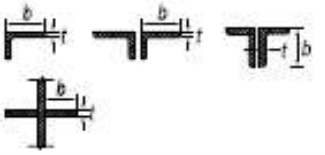
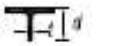
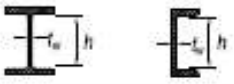
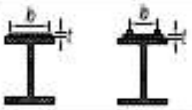
3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk

Perilaku tekuk terbagi menjadi 2 macam, yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Hal yang membedakan yaitu tempat terjadinya tekuk dan solusi penyelesaian, apabila tekuk tersebut terjadi pada batang tekan. Penyelesaian masalah tekuk lokal

lebih kompleks dibanding tekuk global, dirumuskan oleh Euler (1757), dan dijadikan sebagai pedoman perancangan kolom untuk berbagai *design-code* di dunia. Jika terjadi tekuk lokal, maka selain penyelesaiannya tidak sederhana, pemakaian penampangnya akan tidak efisien sebab terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh).

Untuk memperoleh struktur yang optimal, maka harus menghindari risiko tekuk lokal. Oleh karena itu diciptakan klasifikasi untuk membedakan penampang tidak langsing dan langsing yang dilakukan dengan cara mengevaluasi rasio lebar-tebal (b/t) tiap-tiap elemen dari penampang. Elemen-elemen diklasifikasikan berdasarkan kondisi kekangannya, Suatu penampang diklasifikasikan sebagai penampang tidak langsing (ideal) apabila kedua sisinya tersambung kepada elemen lain; atau masih ada sisi bebas. jika semua elemen tidak melebihi nilai batas rasio b/t, dan sebaliknya sebagai penampang langsing. Nilai b/t setiap elemen profil penampang dibandingkan dengan nilai batas rasio bit dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial

	Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ, (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1	Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	b/t	$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	b/t	$0.64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	b/t	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Stems of tees	d/t	$0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5	Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Walls of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	All other stiffened elements	b/t	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Round HSS	D/t	$0.11\frac{E}{F_y}$	

(Sumber: AISC 2010)

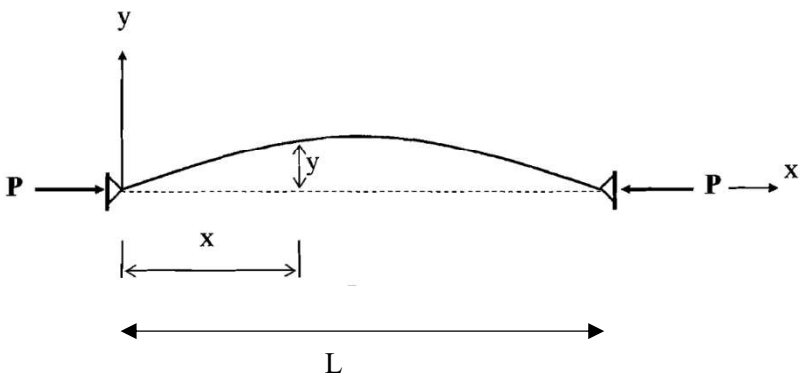
Suatu penampang dapat dikatakan struktur efisien tidak langsing, apabila tidak ada risiko tekuk lokal. Penyelesaian AISC (2010) untuk batang tekan dengan klasifikasi langsing, juga menyediakan faktor reduksi, maka beban kritis terhadap tekuk lokal tidak tercapai terlebih dahulu. Oleh karena itu strategi perencanaan batang tekan AISC (2010) didasarkan pada tekuk global.

Tekuk global dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun *inelastic* pada keruntuhan

1. Tekuk Elastis

   Dalam suatu kolom langsing terdapat tekuk elastis. Kolom langsing adalah kolom yang mempunyai kelangsingan lebih besar dari kelangsingan batas. Pada keruntuhan akibat tekuk elastis, tegangan yang terjadi pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis, sehingga biasa disebut tekuk elastis.(Padosbaajayo,1992).

   Dalam suatu batang lurus yang ujung-ujungnya berupa sendi, dikerjakan gaya tekan P, sehingga batang akan melengkung seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.5 Batang Tekuk

Pada suatu titik sejarak x, Momen lentur M_x (terhadap sumbu x) pada batang yang sedikit melengkung (batang tertekan) adalah

$$M_x = P \times Y \tag{3.13}$$

Dalam keadaan kolom elastis dan deformasi yang terjadi kecil, hubungan momen (M), kelengkungan dan factor kekakuan (E1) yaitu

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{Mx}{EI} \quad (3.14)$$

Persamaan differensialnya menjadi

$$\frac{d^2y}{dz^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.15)$$

Penyelesaian persamaan memperoleh beban tekuk Euler *(Euler buckling load)*, yaitu

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.16)$$

Jika persamaan (3.15) dibagi dengan luas penampang batang A, maka

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AKL^2} \quad (3.17)$$

Dimana I adalah inersia bahan, I = Ai atau i = I I A, didapatkan tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.19) sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{KL/r^2} \quad (3.18)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja,

r = jari-jari inersia minimum

L = panjang tekuk.

Berdasarkan persamaan di atas maka kekuatan batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan (KL/r). Semakin besar kelangsingan elemen tekan tegangan kritisnya akan semakin kecil, maka beban yang dapat mengakibatkan elemen tekan mengalami tekuk semakin kecil.

2. Tekuk Inelastis

Jika sebagian penampang lintang profil mengalami leleh, maka terjadi tekuk inelastis. Hal tersebut disebabkan angka kelangsingan suatu elemen struktur lebih kecil bila dibandingkan dengan angka kelangsingan kritisnya. Daerah tekuk inelastic besaran modulus elastis (E) menurun menjadi Et (E>Et) serta kurva tegangan-regangan tidak linear. *Tangen modulus theory* yang

diciptakan oleh Engesser (Salmon dan Johnson, 1992) menyatakan tegangan kritis kolom dengan persamaan berikut.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 Et}{(KL/r)^2} \quad (3.19)$$

Persamaan di atas berlaku untuk batang tekan yang elemen-elemen penampangnya tidak mengalami tekuk lokal. Et merupakan modulus *tangent* yang nilainya berubah-ubah dan lebih kecil dari modulus elastis. Karena Et < E maka tegangan kritis yang didapatkan berdasarkan persamaan tersebut selalu lebih kecil dibanding persamaan yang lain memberitahukan tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang tegangan kritisnya semakin kecil.

3.5 Kuat nominal penampang

Cara yang dipakai dalam suatu analisa kuat nominal pada penampang yaitu *Effective Length Method* (ELM), tetapi nilai faktor K yang berfungsi untuk kelangsingan batang diambil konstan sebesar 1. *Direct Analysis Method* (DAM) pada batang tekan terdapat pengaruh orde ke-2 sehingga menghasilkan gaya tekan dan *bending moment*, oleh karena itu dibutuhkan interaksi lentur serta gaya tekan pada komponen struktur simetris tunggal dan komponen struktur simetris ganda agar dapat melentur pada sumbu geometris yang perlu dibatasi. Analisa pembatasan komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang membawa lentur dan gaya aksial menurut SNI 1729-2020 dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut ini.

Apabila $\frac{Pr}{Pc} \geq 0{,}2$ maka

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9}\left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy}\right) \leq 1{,}0 \quad (3.20)$$

Apabila $\frac{Pr}{Pc} \leq 0{,}2$ maka

$$\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy}\right) \leq 1{,}0 \quad (3.21)$$

Keterangan:

P_r = Kekuatan aksial perlu (N)

P_C = Kekuatan aksial tersedia (N)

M_r = Kekuatan lentur perlu (N-mm)

M_C = Kekuatan lentur tersedia (N-mm)

x = index sehubungan dengan lentur sumbu mayor

y = index sehubungan dengan lentur sumbu minor

3.6 Kuat Lentur Profil

Kuat lentur adalah ketahanan baja dalam menahan gaya pada arah tegak lurus sumbu sampai mengakibatkan keruntuhan atau patah. Pengujian yang akan dilakukan memakai profil baja persegi panjang, prosedur desain balok lentur melalui SNI 1729-2020 yaitu sebagai berikut.

Tabel 3.2 Prosedur desain balok lentur profil kotak

Pasal dalam Bab F	Penampang Melintang	Kelangsingan Sayap	Kelangsingan Badan	Keadaan Batas
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB

Y = leleh, CFY = leleh sayap tekan, LTB = tekuk torsi-lateral, FLB = tekuk lokal sayap, WLB = tekuk lokal badan, TFY = leleh sayap tarik, LLB = tekuk lokal kaki, LB = tekuk lokal, C = kompak, NC = nonkompak, S = langsing, N/A = tidak berlaku

Berpedoman pada prosedur desain pada balok lentur profil kotak diatas, kekuatan lentur nominal (Mn) harus didapatkan dari nilai terendah dalam suatu keadaan batas leleh dan tekuk torsi lateral. Menurut SNI 1729-2020 untuk menentukan nilai Mn dapat dilihat dari rumus persamaan dibawah ini.

1. Leleh

$$M_n = M_p = F_y.Z \quad (3.22)$$

Keterangan :

F_y = Tegangan leleh minimum

Z_x = Modulus penampang plastis terhadap sumbu x

2. Tekuk Torsi-Lateral

a. Apabila $L_b \leq L_p$ keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku

b. Apabila $L_p < L_b \leq Lr$, maka:

$$M_n = C_b \left(M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{Lb-Lp}{Lr-Lp}\right)\right) \leq M_p \quad (3.23)$$

c. Apabila $L_b > L_r$, maka:

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{JAg}}{\frac{Lb}{ry}} \leq M_p \quad (3.24)$$

Keterangan :

Ag = Luas penampang melintang bruto

Lp = Batas Panjang tak terbreis secara lateral untuk keadaan batas leleh

Dengan :

$$L_p = 0{,}13\ E_{ry} \frac{\sqrt{JAg}}{Mp} \quad (3.25)$$

Jika Lr, batas Panjang secara lateral pada keadaan batas tekuk torsi lateral inelastis, yaitu :

$$L_p = 2\ E_{ry} \frac{\sqrt{JAg}}{Mp} \quad (3.26)$$

3.7 Desain Sambungan Baja

Pada rangka atap memiliki sambungan yang berfungsi untuk menghubungkan batang-batang penyusun rangka atap sehingga menjadi kesatuan penyusun struktur rangka atap. Desain sambungan rangka atap dilakukan dengan mengacu pada SNI 1729-2015 pada tabel 3.3 dan 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Dimensi Lubang Nominal

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran Berlebih (Diameter)	Standar (Diameter)	Slot Panjang (Lebar x Panjang)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27[a]	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥ M36	d + 3	d + 8	(d + 3) x (d + 10)	(d + 3) x2,5d

[a] Diameter lubang ini memungkinkan penggunaandengan baut diameter 1 in.

Tabel 3.4 Jarak Tepi Minimum Dari Pusat Lubang Standar Ke Tepi Bagian Yang Disambung

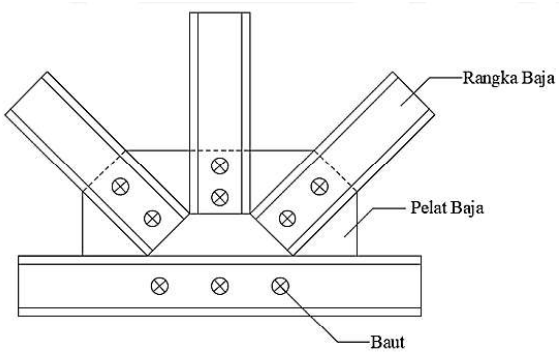
Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25*d*

[a]Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan.
[b]Untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

3.8 Kapasitas Sambungan Struktur Baja

Dalam perhitungan struktur baja, perhitungan sambungan harus rinci karena terdapat berbagai macam variasi dari jenis atau tipe sambungan dan gaya-gaya yang bekerja. Perencanaan sambungan dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi sambungan dan jumlah sambungan (jumlah baut dan tebal las) hingga kapasitas sambungan lebih besar dari beban sambungan. Terdapat beberapa jenis sambungan pada struktur baja, yaitu paku keeling (*rivet*), baut dan las. Dibutuhkan ketepatan, presisi dan sistem pengawasan yang baik supaya mutunya terjamin pada proses pabrikasi. Apabila pemakaian jenis sambungan berbeda dengan perencanaan, dapat menyebabkan kinerja struktur lokal atau keseluruhan dapat berkurang dan dapat memicu terjadinya kegagalan total.

Pada pengujian ini, sambungan untuk struktur atap yang digunakan pada baja adalah sambungan menggunakan baut. Selanjutnya, elemen yang digunakan sebagai media penyambung yaitu menggunakan pelat baja. Gambaran sambungan baut dapat dilihat pada gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Sambungan Baut Dengan Pelat Baja

Dalam perencanaan sambungan kuat sambungan harus lebih kuat dibandingkan dengan elemen yang disambung. Analisis pada sambungan mencakup analisis kuat tumpu dan kuat geser baut sebagai berikut.

3.8.2 Kuat Tumpu Baut

Berpedoman pada AISC (2010), kuat tumpu pelat sambungan memperhitungkan pengaruh deformasi, apabila besaran deformasi bisa mempengaruhi fungsi struktur, maka perlu dibatasi dengan persamaan rumus 3.27 berikut ini.

$$R_n = 1.2\, I_c\, t\, F_u \leq 2.4\, d\, t\, F_u \quad (3.27)$$

Apabila deformasi pada sambungan tidak mempengaruhi atau tidak menggangu terhadap fungsi struktur, maka dapat digunakan persamaan 3.28 berikut.

$$R_n = 1.5\, I_c\, t\, F_u \leq 3.0\, d\, t\, F_u \quad (3.28)$$

Apabila memakai lubang baut tipe slot-panjang dengan arah tegak lurus arah gaya, maka kekuatannya berkurang. Sehingga dapat menggunakan persamaan rumus 3.29 sebagai berikut.

$$R_n = 1.0\, I_c\, t\, F_u \leq 2.0\, d\, t\, F_u \quad (3.29)$$

Keterangan :

I_c = jarak bersih (mm) searah gaya

F_u = Kuat Tarik minimum baja pelat (MPa)

t = Tebal material yang disambung (mm)

d = Diameter baut (mm)

3.8.3 Kuat Geser Baut

Tumpu dan geser dapat terjadi pada sambungan pelat dan baut. Pada baut kerusakan yang akan terjadi terlebih dahulu yaitu pada geser. Oleh karena itu perlu dipastikan bahwa kuat geser baut lebih besar. Rumus persamaan kuat baut per satu bidang geser dapat dilihat pada rumus 3.30 sebagai berikut

$$R_n = F_{nv} A_b \quad (3.30)$$

Dimana :

R_n = Kuat Geser Baut (N)

F_{nv} = Tegangan geser nominal baut

A_b = Luas penampang baut (mm^2)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan studi eksperimental di laboratorium untuk memnganalisis dan membandingkan kekuatan struktur rangka baja dengan metode analisis langsung atau *direct analysisis method* (DAM) dan *Effective Length Method* (ELM) yang akan dibandingkan langsung dengan hasil analisis yang dilakukan di laboratorium. Sampel benda uji dalam penelitian ini berupa struktur rangka atap baja *hollow* dengan kelangsingan (KL/r) batang tekan yang tinggi dengan variasi jumlah baut sambungan.Terdapat 3 pengujian pada penelitian ini yaitu : uji tarik profil *hollow*, uji geser baut, serta uji rangka atap baja. Setelah dilakukan pengujian diperoleh data hasil pengujian yang akan dilakukan analisis dan perbandingan dengan data dari hasil analisis yang didapatkan menggunakan metode perencanaan langsung atau *Direct Analysis Method* sesuai dengan SNI 1729 : 2020.

4.2 Jenis Data penelitian

Pada penelitian ini pengumpulan data diambil dari Direct Analysis Method (DAM) yang sesuai dengan SNI 1729:2020 dan pengujian langsung di laboratorium yang kemudian dari kedua data tersebut dibandingkan hasilnya. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Data Primer

   Data primer pada penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium. Adapun data primer tersebut berupa data hasil pengujian tarik profil *hollow* berupa penambahan dan kapasitas panjang profil, pengujian geser baut berupa kapasitas beban maksimal yang dapat ditahan oleh baut, pengujian tekan profil *hollow* berupa kapasitas maksimal yang dapat ditahan oleh profil *hollow*, pengujian kuat lentur profil *hollow* berupa hasil inersia penampang

profil serta kapasitas lentur, dan pengujian tekuk profil didapatkan data arah lekukan dan lendutan maksimal yang dapat terjadi pada profil tersebut.

2. Data Sekunder

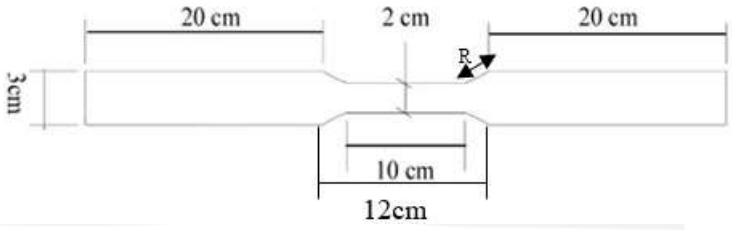
   Data sekunder pada penelitian ini berupa data-data pendukung yang dapat dijadikan referensi serta acuan. Adapun data sekunder yang digunakan yaitu *Direct Analysis Method* pada SNI 1729:2020 yang digunakan untuk acuan pembanding dari hasil pengujian laboratorium, jurnal penelitian yang serupa dan literasi lainnya.

4.3 Uji Tarik Material Baja

Uji tarik material baja dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai kuat tarik material yang digunakan serta nilai modulus elastis. Dari data yang didapatkan maka diketahui mutu baja yang dipakai dalam pengujian.

4.3.1 Bahan Uji

Bahan uji yang digunakan pada pengujian ini yaitu pelat baja dengan ketebalan 1,2 mm. berikut adalah gambar 4.1 benda uji yang digunakan berdasarkan SNI 8389-2017.



Gambar 4.1 Benda Uji Tarik Pelat Baja

4.3.2 Alat Uji

Pada pengujian ini alat yang akan digunakan sebagai berikut.

1. Alat Pengukur

   Alat ukur digunakan untuk pengukuran dimensi benda uji serta mengukur pengujian yang dilakukan. Berikut gambar alat ukur roll meter pada gambar 4.2.

Gambar 4.2 Alat Ukur *Roll meter*

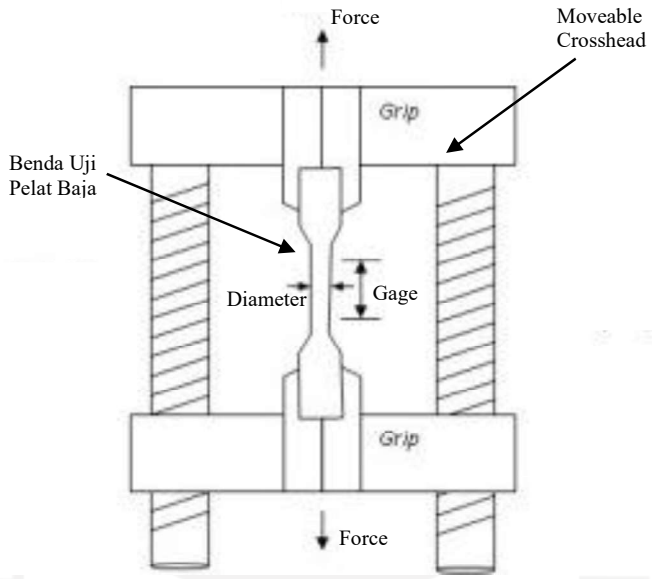
2. *Universal Testing Material (UTM)*

   Universal Testing Material (UTM) merupakan sebuah alat pengujian uji tarik (*tensile test*) pada material baut dan profil baja *hollow* dan pengujian uji tekan (*compressiom test*) pada profil baja *hollow*. Mesin pengujian rangka baja yang digunakan adalah *Universal Testing Material (UTM)* dengan merk *Shimatsu* dengan type UMH 30 memiliki kapasitas 30 ton. Berikut gambar *Universal Testing Material (UTM)* pada gambar 4.3.

Gambar 4.3 Universal Testing Material

4.3.3 *Set Up* Pengujian

Berikut ini adalah gambar *set up* pengujian tarik material baja yang dilakukan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Set Up* Pengujian Tarik Material

4.4 Uji Geser Baut

Uji geser baut dilakukan untuk mengetahui kekuatan baut ketika menerima beban maksimal apabila baut digunakan pada sambungan struktur rangka atap baja. Pembuatan Rangka Atap.

4.4.1 Bahan Uji

Pada pengujian kuat geser baut digunakan baut dengan diameter 10-12 mm.

4.4.2 Peralatan Pengujian

Pada pengujian geser baut diperlukan peralatan-peralatan untuk menunjang proses pengujian yang akan dilakukan. Berikut ini peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian geser baut.

1. Jangka Sorong

   Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter baut yang akan digunakan pada pengujian kuat geser baut. Berikut gambar jangka sorong

pada gambar 4.5.

Gambar 4.5 Jangka Sorong

2. Alat Uji Geser Baut

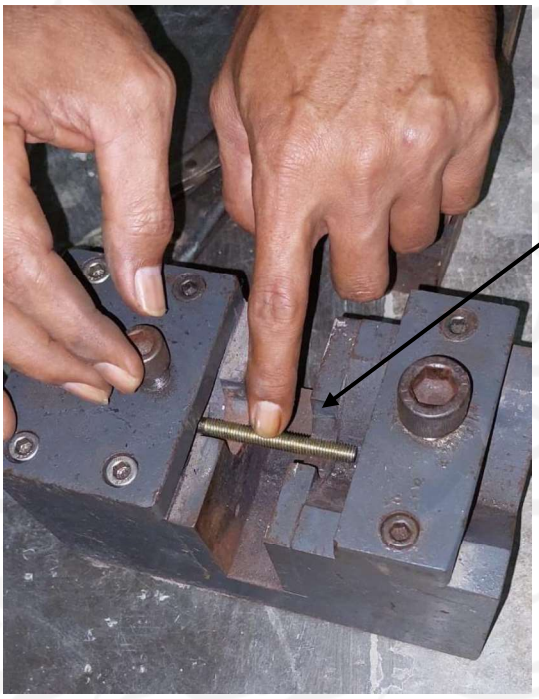
Alat uji geser baut digunakan untuk mengetahui kekuatan geser dari baut yang akan digunakan. Berikut ini adalah gambar 4.6 alat uji geser baut.

Gambar 4.6 Alat Uji Geser Baut

4.4.3 Set Up Pengujian

Berikut adalah *set up* pengujian kuat geser baut pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 berikut ini.

Gambar 4.7 *Set Up* Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Depan



Gambar 4.8 Set Up Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Atas

4.5 Perhitungan Desain Rangka Atap

Setelah dilakukan pengujian pada material yang akan digunakan maka tahap selanjutnya yaitu menghitung desain rangka atap. Untuk tahapan perhitungan desain rangka atap adalah sebegai berikut.

4.5.1 Menghitung Prediksi Kapasitas Tekan Batang Tekan Variasi 1 Baut Sambungan Menggunakan ELM Dengan Dimensi Rencana.

1. Data Penampang Rangka Atap Variasi 1 Baut

   L = 2000 mm

   H = 1113 mm

   b = 15 mm

   h = 30 mm

   A_g = 5178,1 mm^2

   I_y = 3429,3 mm^4

   $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$

   $= \sqrt{\frac{5178,1}{149,04}}$

   = 5,89 mm

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif (λ)

   $\frac{K.L}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$

   $\frac{1x1113}{5,89} \geq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235,6}}$

   $188,96 \geq 137,229$

   Dari hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai $\frac{K.L}{r} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka diketahui bahwa kondisi benda uji tekuk elastis (Kelangsingan tinggi).

3. Menghitung Nilai Tegangan Tekuk Kritis (F_{cr})

   Setelah diketahui benda uji mengalami tekuk inelastic, maka nilai tegangan tekuk kritis (F_{cr}) yaitu.

   $F_{cr} = 0.877$ x Fe

   Untuk mendapatkan nilai tegangan tekuk kritis elastis (F_e) yaitu menggunakan persamaan dibawah ini

   $F_e = \frac{\pi^2 . E}{(K.L/r)^2}$

$$F_e = \frac{\pi^2 \, x \, 200000}{188{,}96^2}$$

$F_e = 55{,}283 \; Mpa$

Maka nilai tegangan tekuk kritis yang diperoleh yaitu

$F_{cr} = 0{,}877$ x Fe

$F_{cr} = 0{,}877$ x $55{,}283$

$F_{cr} = 48{,}48 \; Mpa$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil (P_n)

Setelah mendapatkan nilai F_{cr} dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan profil (P_n) yaitu

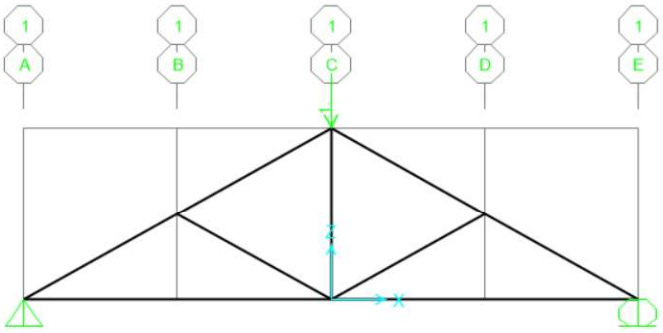
$\varphi P_n =$ ϕ x F_{cr} x A

$\varphi P_n = 0{,}9$ x $48{,}48$ x $149{,}04$

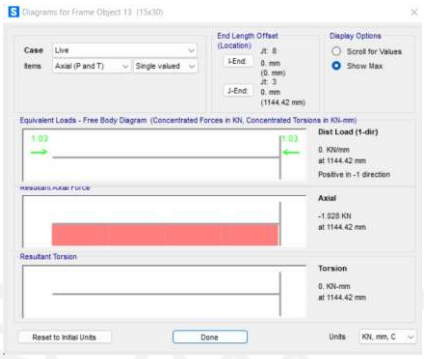
$\varphi P_n = 6{,}5$ KN

5. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Untuk menghitung beban pada titik puncak rangka atap menggunakan perbandingan segitiga yang dilakukan dengan memberikan beban sebesar 1 KN di titik puncak rangka atap. Setelah pemberian beban sebesar 1 KN dapat dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap untuk memperoleh nilai aksial batang. Berikut ini gambar 4.9 dan gambar 4.10 pemberian beban 1 KN dan hasil nilai beban aksial pada batang tekan.



Gambar 4.9 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 4.10 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pembebanan 1kN

Dari Gambar 4.10 diatas dapat diketahui nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan diperoleh sebesar 1,028 KN yang akan digunakan pada perbandingan segitiga dengan nilai φPn sebesar 6,5 KN

Adapun persamaan segitiga yang digunakan sebagai berikut,

$$\frac{1kN}{Pn} = \frac{P}{\varphi Pn}$$

$$\frac{1\ kN}{1{,}028\ kN} = \frac{P}{6{,}5\ kN}$$

$$P = \frac{1\ \times 6{,}5}{1{,}028}$$

$$P = 6{,}32\ kN$$

Maka diperoleh prediksi kapasitas tekan rangka atap hasil ELM sebesar 6,32 KN.

4.5.2 Menghitung Prediksi Kapasitas Tekan Batang Tekan Variasi 3 Baut Sambungan Menggunakan ELM

1. Data Penampang Rangka Atap Variasi 3 Baut

L = 2000 mm

H = 1028 mm

b = 15 mm

h = 30 mm

A_g = 149,04 mm^2

A_g = 5178,1 mm^2

I_y = 3429,3 mm^4

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$

$= \sqrt{\frac{5178,1}{149,04}}$

= 5,89 mm

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif (λ)

$\frac{K.L}{r} \geq 4,71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\frac{0,7x108}{5,89} \geq 4,71\sqrt{\frac{200000}{235,6}}$

$122,17 \leq 137,229$

Dari hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai $\frac{K.L}{r} \leq 4,71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka diketahui bahwa kondisi benda uji tekuk *inelastic* (Kelangsingan sedang).

3. Menghitung Nilai Tegangan Tekuk Kritis (F_{cr})

Setelah diketahui benda uji mengalami tekuk inelastic, maka nilai tegangan tekuk kritis (F_{cr}) yaitu.

$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) F_y$

Untuk mendapatkan nilai tegangan tekuk kritis elastis (F_e) yaitu menggunakan persamaan dibawah ini

$F_e = \frac{\pi^2.E}{(K.L/r)^2}$

$F_e = \frac{\pi^2\ x\ 200000}{122,17^2}$

$F_e = 132,25\ Mpa$

Maka nilai tegangan tekuk kritis yang diperoleh yaitu

$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) F_y$

$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{240}{132,25}}\right) 240$

$F_{cr} = 112,29\ Mpa$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil (P_n)

   Setelah mendapatkan nilai F_{cr} dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan profil (P_n) yaitu

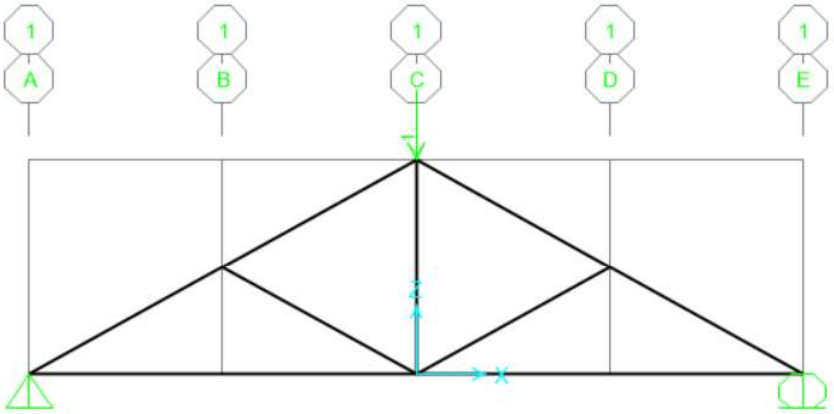
   $\varphi P_n = \phi$ x F_{cr} x A

   $\varphi P_n = 0{,}9$ x $112{,}29$ x $149{,}04$

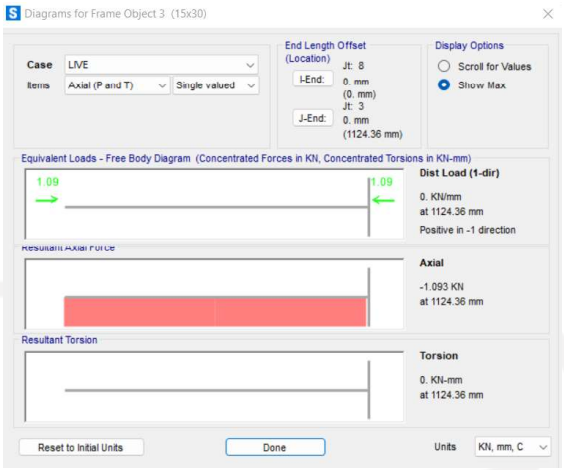
   $\varphi P_n = 15{,}06$ KN

5. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

   Untuk menghitung beban pada titik puncak rangka atap menggunakan perbandingan segitiga yang dilakukan dengan memberikan beban sebesar 1 KN di titik puncak rangka atap. Setelah pemberian beban sebesar 1 KN dapat dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap untuk memperoleh nilai aksial batang. Berikut ini gambar 4.11 dan gambar 4.12 pemberian beban 1 KN dan hasil nilai beban aksial pada batang tekan.



Gambar 4.11 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 4.12 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pembebanan 1kN

Dari Gambar 5.12 diatas dapat diketahui nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan diperoleh sebesar 1,093 KN yang akan digunakan pada perbandingan segitiga dengan nilai φPn sebesar 15,06 KN

Adapun persamaan segitiga yang digunakan sebagai berikut,

$$\frac{1kN}{Pn} = \frac{P}{\varphi Pn}$$

$$\frac{1\ kN}{1{,}093\ kN} = \frac{P}{15{,}06kN}$$

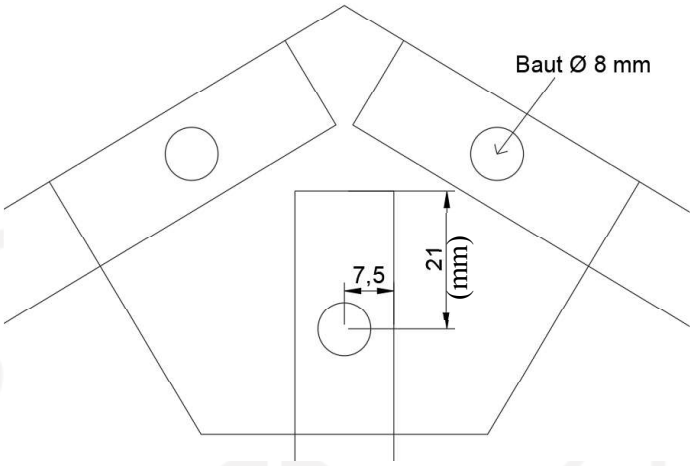
$$P = \frac{1\ \times 15{,}06}{1{,}093}$$

$$P = 13{,}78\ kN$$

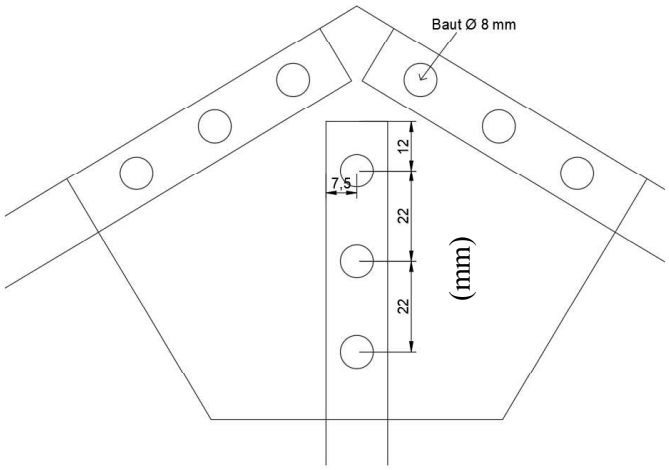
Maka diperoleh kapasitas tekan rangka atap hasil ELM sebesar 13,78 KN.

4.5.3 Desain Dimensi Dan Jarak Antar Baut Pada Sambungan Rangka Atap

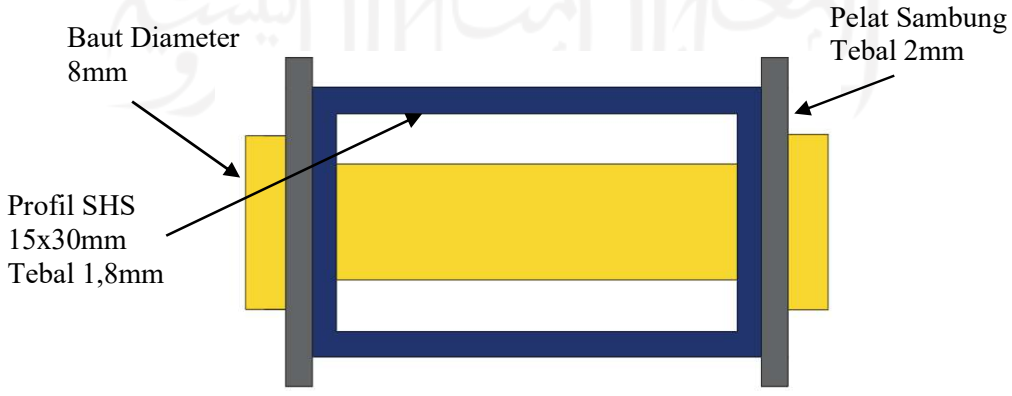
Dilakukan perhitungan desain dimensi dan jarak antar baut yang akan digunakan pada sambungan rangka atap mengikuti aturan SNI 1729-2015. Dengan mengacu pada tabel 3.3 dan 3.4 digunakan sambungan sebagai berikut.



Gambar 4.13 Desain Sambungan Rangka Atap Variasi 1 Baut



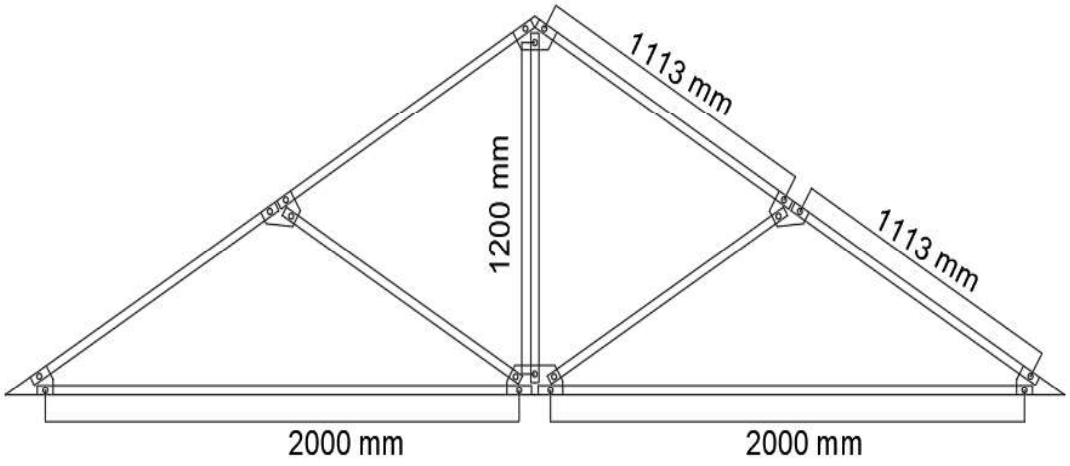
Gambar 4.14 Desain Sambungan Rangka Atap Variasi 3 Baut



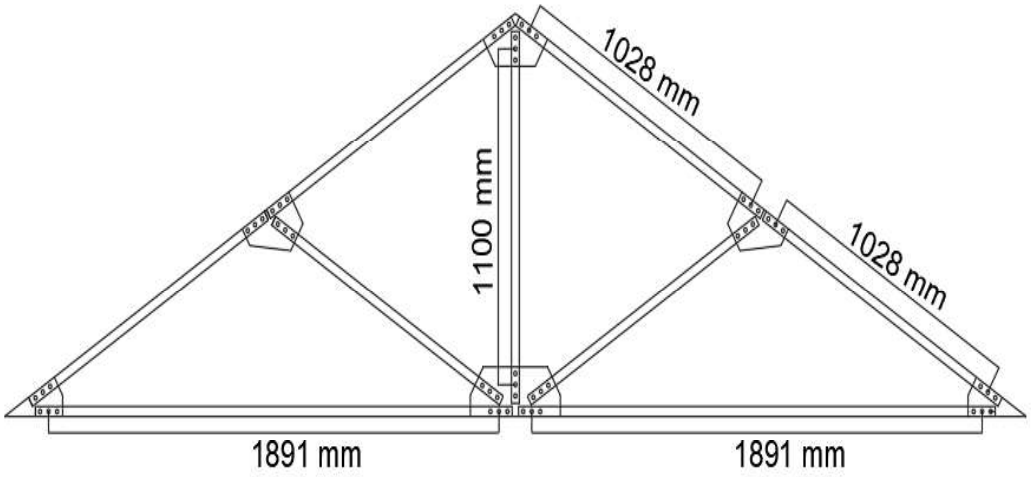
Gambar 4.15 Potongan Pada Sambungan Baut

4.5.4 Desain Gambar Rencana Rangka Atap Menggunakan AutoCad

Setelah didapatkan dimensi rencana rangka atap dari trial perhitungan yang dilakukan sebelumnya maka tahap selanjutnya dengan membuat desain rangka atap menggunalkan Autocad agar dapat diperoleh dimensi dan jumlah kebutuhan batang baja kotak yang dibutuhkan dalam pembuatan rangka atap.



Gambar 4.16 Dimensi Akhir Setelah PemodelanAutoCad Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 4.17 Dimensi Akhir Setelah PemodelanAutoCad Variasi 3 Baut Sambungan

4.6 Pembuatan Benda Uji Rangka Atap

Setelah dilakukan perhitungan desain rangka atap dan diperoleh model rangka atap yang direncanakan. Setelah itu gambar model dibawa ke tempat

bengkel las. Apabila proses pembuatan telah selesai dari bengkel las dilakukan *checking* kesesuaian dengan desain yang telah direncanakan sesuai dengan gambar rencana pada gambar 4.16 dan 4.17.

4.7 Uji Tekan Rangka Atap

Setelah benda uji rangka atap sudah selesai selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan rangka atap untuk mengetahui kekuatan tekan dari rangka atap yang direncanakan.

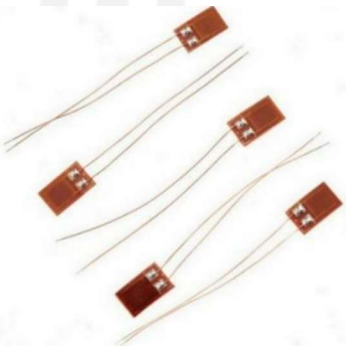
4.7.1 Benda Pengujian

Pada penelitian bahan benda uji yang digunakan yaitu struktur rangka atap baja dengan profil *square hollow section* dengan kelangsingan tinggi dengan ukuran penampang 15x30 mm dengan ketebalan 1,8 mm, digunakan baut diameter 8 mm dengan pelat buhul dengan tebal 2 mm sebagai sambungan antar profil.

4.7.2 Peralatan Pengujian

1. *Strain Gauge*

   Strain gauge digunakan sebagai alat untuk mendeteksi tegangan ataupun deformasi yang terjadi ketika pengujian lentur dan tekan. Alat ini ditempelkan di tupuan yang terdapat pada benda uji. Berikut ini gambar 4.18 *Strain Gauge* yang digunakan.



Gambar 4.18 *Strain Gauge*

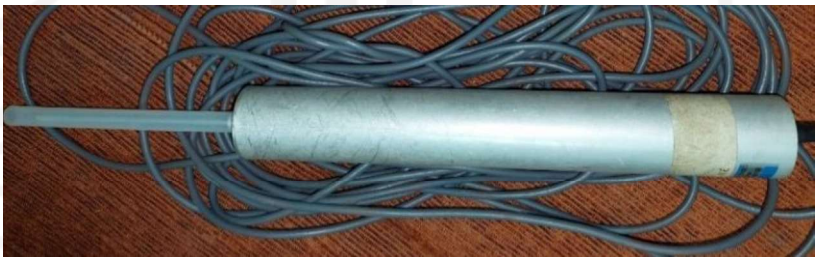
2. *Load Cell*

   Dalam pengujian ini *Load Cell* digunakan sebagai pembaca beban yang dibebankan pada benda uji. Berikut gambar 4.19 *load cell* yang digunakan.

Gambar 4.19 Load Cell

3. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

   Linear Variable Differential Transformer (LVDT) alat yang yang memiliki fungsi untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada benda uji. Dalam penelitian ini *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) dipasang pada sisi benda uji berlawanan dengan arah datangnya gaya, serta memiliki kapasitas mengukur lendutan sebesar 100 mm. Adapun gambar LVDT dapat dilihat pada gambar 4.20 dibawah ini.



Gambar 4.20 LVDT

4. *Hydraulic Jack*

   Hydraulic jack pada pengujian tekan digunakan untuk memberikan beban pada bahan uji batang tekan *square hollow section*. Adapun gambar alat hydraulic jack dapat dilihat pada gambar 4.21 dibawah ini.

Gambar 4.21 *Hydraulic Jack*

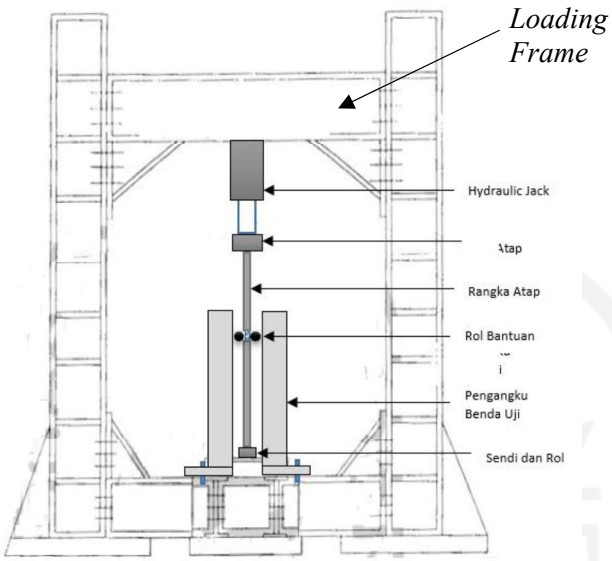
5. *Loading Frame*

Loading frame digunakan sebagai tempat untuk meletakkan sampel benda uji rangka atap baja sebelum diberikan beban. *Loading frame* ini tebuat dari bahan baja dengan profil WF ukuran 450x200x9x14. Adapun gambar *Loading Frame* dapat dilihat pada gambar 4.22 dibawah ini

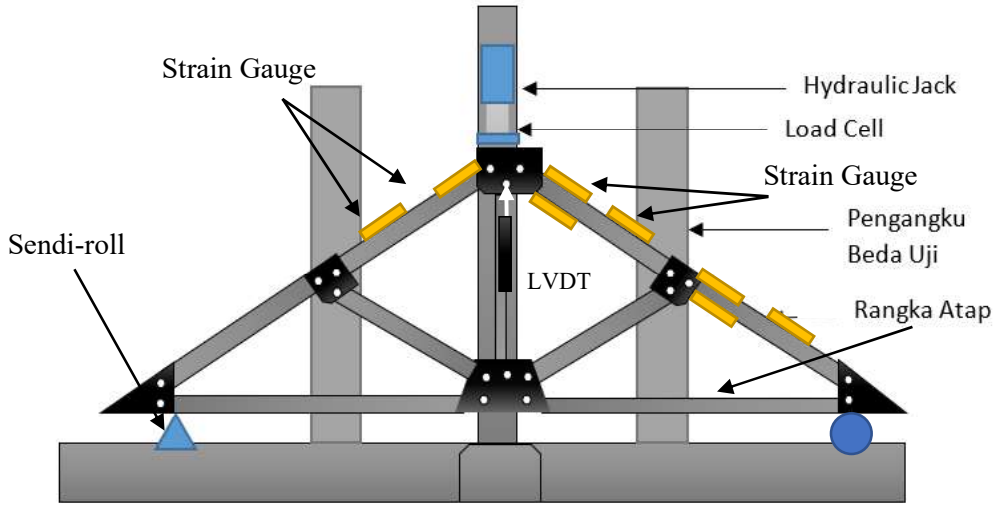
Gambar 4.22 *Loading Frame*

4.7.3 *Set Up* Pengujian

Pada pengujian kuat tekan rangka atap terdapat *set up* pengujiannya agar pengujian dapat berjalan dengan baik. Berikut gambar *set up* pengujian kuat tekan rangka atap.



Gambar 4.23 *Set Up* Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap Tampak Samping



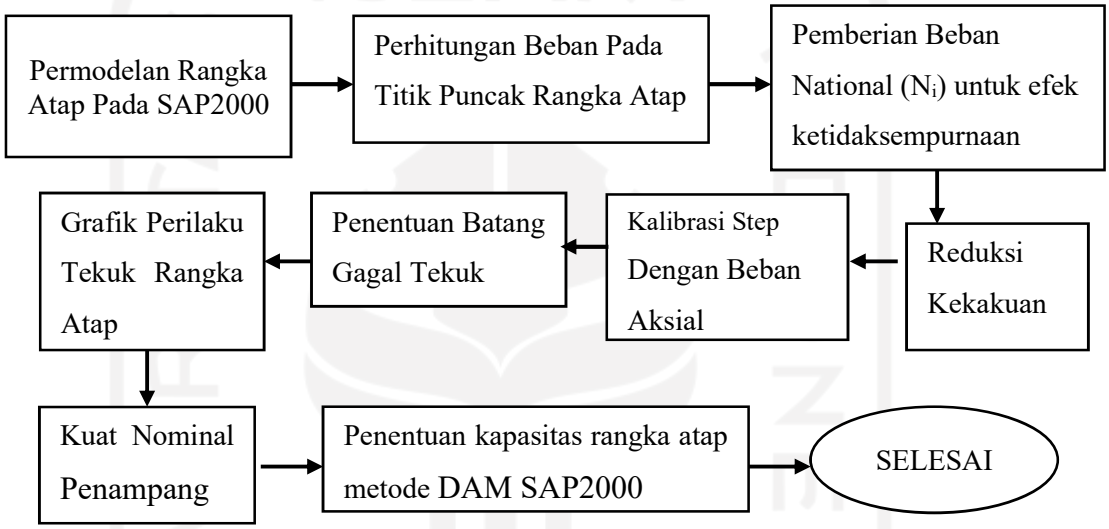
Gambar 4.24 Tampak Depan *Set Up* Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

4.8 *Direct Analysis Method* Menggunakan SAP2000

Dilakukan Analisis menggunakan metode DAM pada SAP2000 dengan pemodelan rangka atap 2D dengan profil sumbu lemah menggunakan tumpuan sendi-rol yang selanjutnya dilakukan *set analysis option* 2D. Selanjutnya memodelkan sambungan rangka baja variasi 1 baut dengan di release sedangkan variasi 3 baut tidak di release. Apabila telah selesai permodelam rangka atap maka dilakukan pemodelan ketidaksempurnaan geometri dengan memasukan beban

notional pada frame rangka atap.

Tahap selanjutnya melakukan kalibrasi jumlah step untuk menentukan step yang stabil dan teliti, yang selanjutnya menentukan batang yang terjadi tekuk dengan menampilkan batang tekan dengan momen terbesar. Tahap terakhir dapat dilakukan Analisis kapasitas tekan rangka atap menggunakan *section cut*. Untuk mempermudah dalam memahami DAM SAP2000 berikut ini flowchart DAM SAP2000.



Gambar 4.25 *Flowchart* DAM SAP2000

4.9 Tahap Pembahasan dan Penarikan Kesimpulan

1. Tahapan Pembahasan

   Pembahasan dilaksanakan setelah pelaksanaan pengujian dan analisis sehingga diperoleh hasil pengujian. Pembahasan ini dilakukan secara terperinci terkait dengan kekuatan rangka baja yang sudah di analisis dengan *Direct Analysis Method* terhadap SNI 1729-2020 yang hasilnya dibandingkan dengan pengujian di laboratorium.

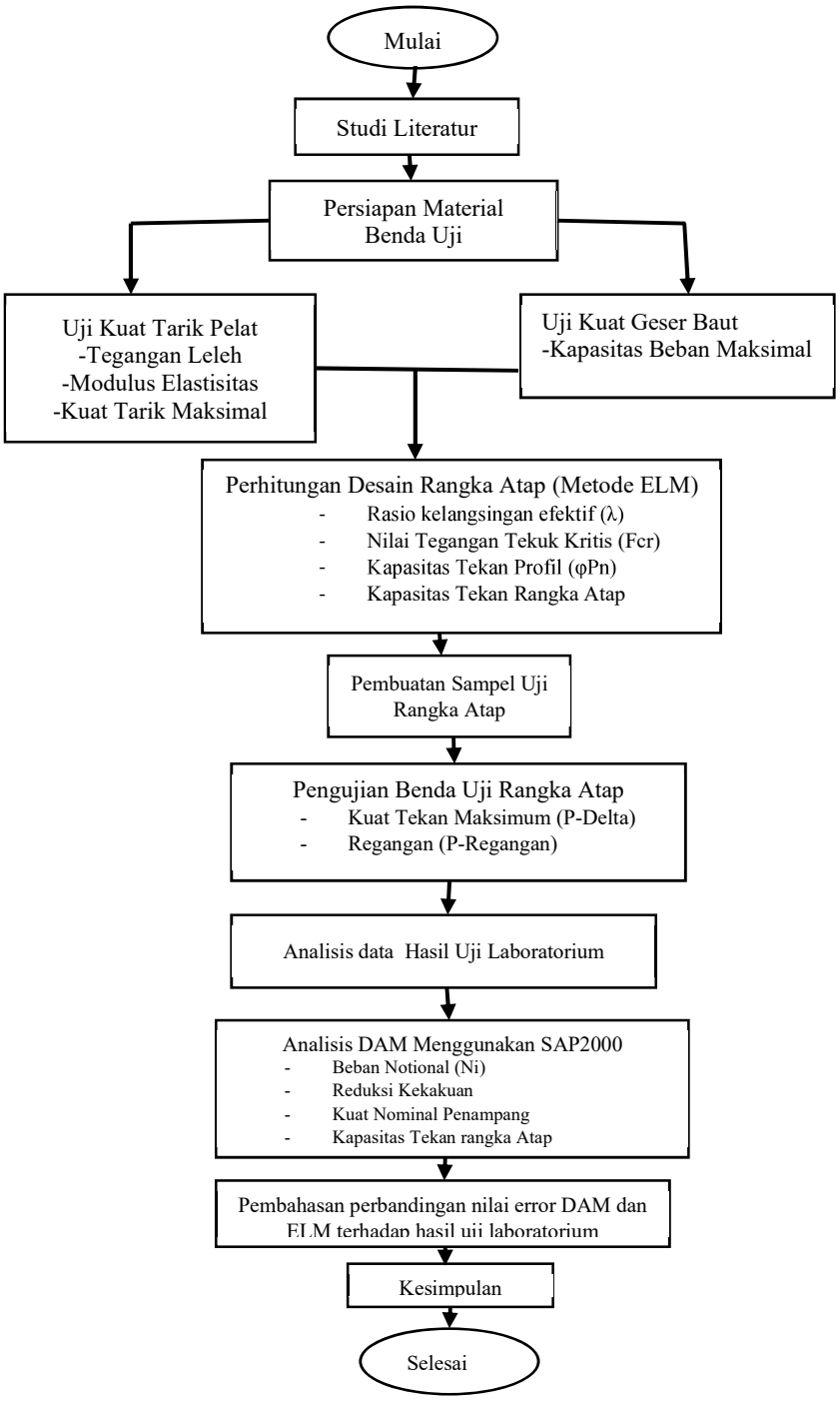
2. Tahapan Penarikan Kesimpulan

   Tahapan penarikan kesimpulan merupakan tahapan paling akhir dari penelitian. Pada kesimpulan diperoleh data yang sudah dianalisis dan dilakukan pembahasan. Kesimpulan yang diambil yaitu hasil perbandingan nilai akurasi kuat tekan struktur rangka atap yang dilakukan dengan

perhitungan *Direct Analysis Method* (DAM) sesuai SNI 1729:2020 dengan hasil pengujian laboratorium.

4.10 *Flowchart* Penelitian

Flowchart merupakan tahapan-tahapan pada penelitian yang akan dilakukan dendigambarkan dengan bagian yang saling berhubungan. *Flowchart* memiliki fungsi agar dapat memudahkan dalam memahami tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan. Berikut dapat dilihat *flowchart* pada penelitian ini.

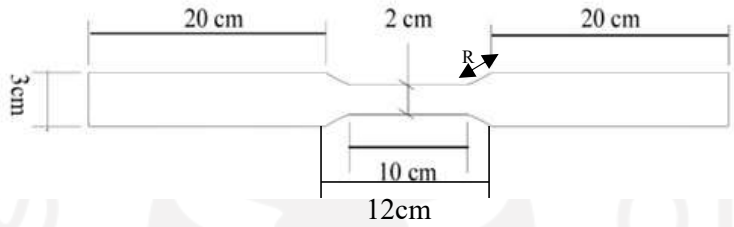


Gambar 4.26 *Flowchart* Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Uji Kuat Tarik Material Baja

Pada pengujian kuat tarik material baja digunakan benda uji pelat baja yang diambil dari salah satu sisi profil *Square hollow section* yang dibuat berdasarkan SNI 8389:2017 yang dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5.1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja

Sampel uji tarik material baja dalam pengujian ini digunakan dimensi sebagai berikut ini.

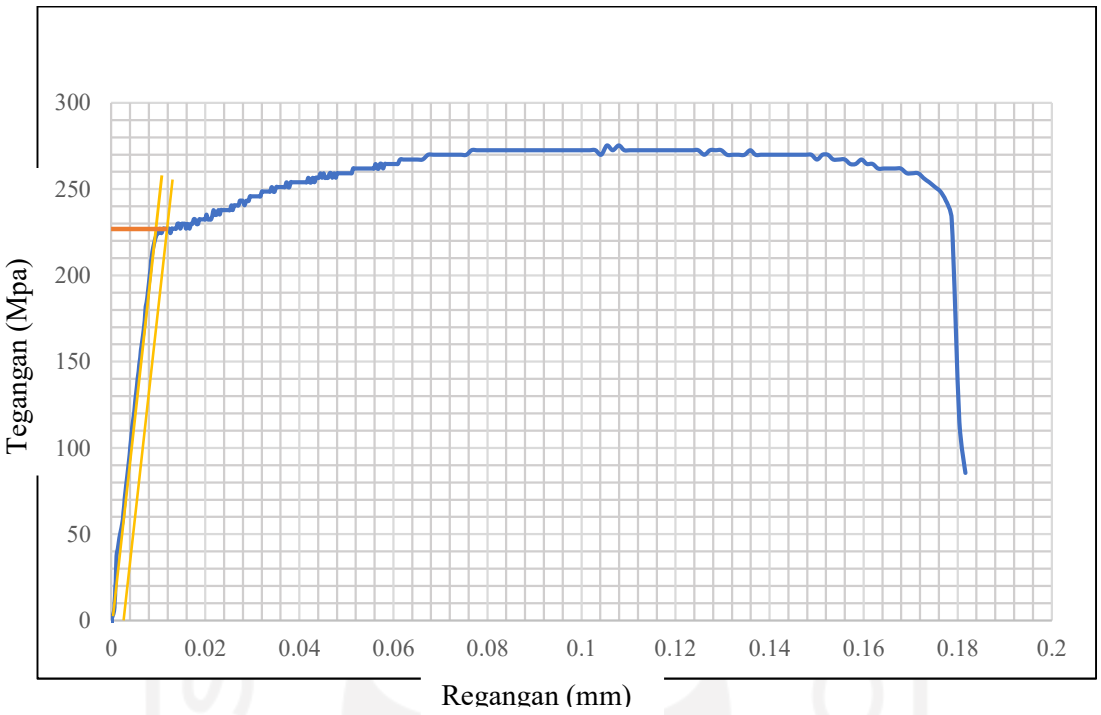
$L_o = 100mm$

$L_c = 120mm$

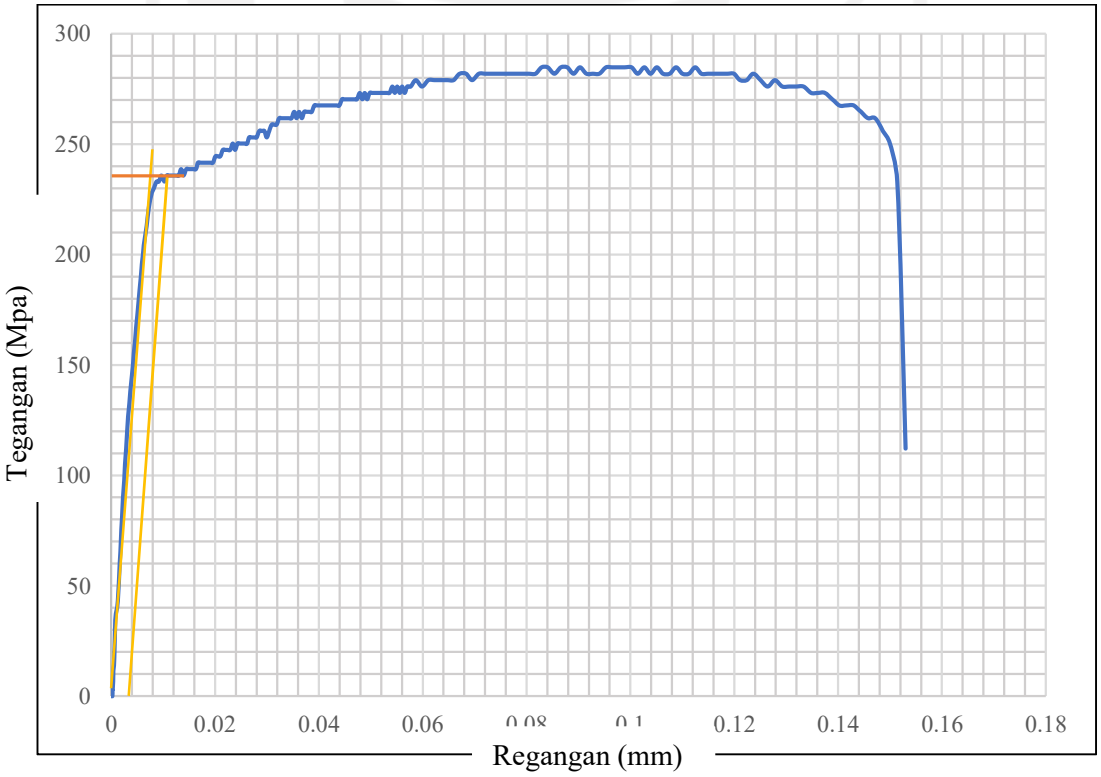
$R = 25^o$

$b_o = 20mm$

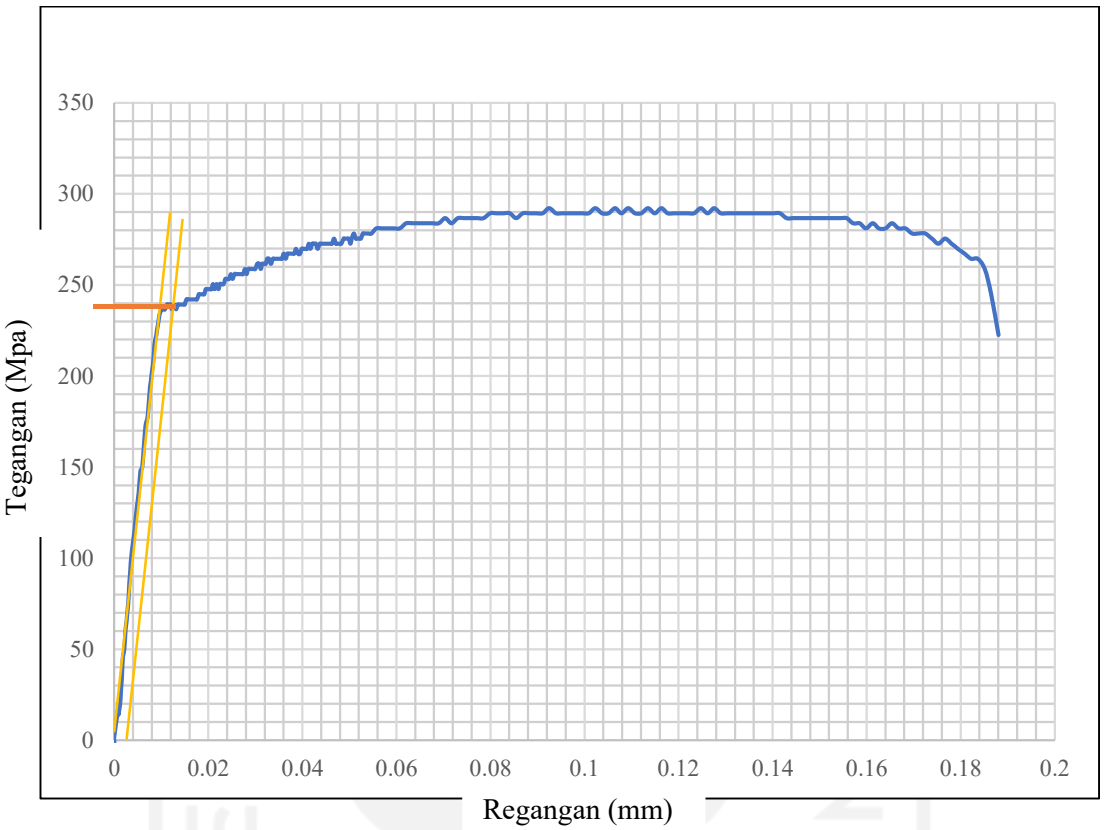
Pengujian tarik material baja dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai tegangan leleh (Fy) dan kuat tarik maksimum (Fu) pada pelat baja yang digunakan. Setelah mengetahui nilai Fy dan Fu dari data hasil pengujian dapat diperoleh grafik tegangan-regangan yang dapar dilihat pada gambar 5.2 sampai gambar 5.4 sebagai berikut ini.



Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1

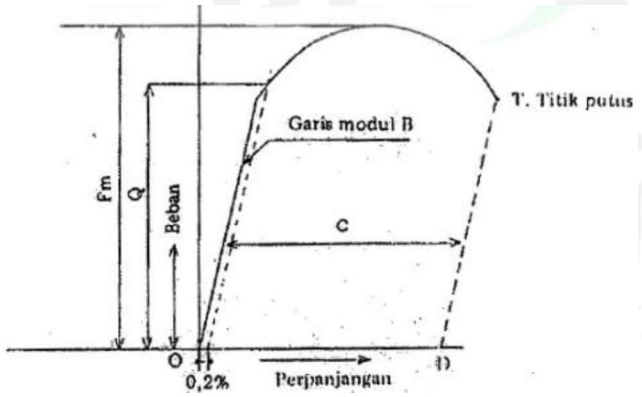


Gambar 5.3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2



Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3

Dalam menetukan titik leleh dari grafik pengujian tarik material baja diatas yaitu, dengan menggunakan Teknik offset 0,2% berdasarkan SNI 0408 (BSN, 1989).



Gambar 5.5 Offset 0,2%
(sumber : SNI 0408 (BSN, 1989))

Berikut ini merupakan nilai titik leleh dan nilai tegangan maksimum dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Nilai Kuat Tarik Pelat Baja Hasil Pengujian

No	Benda Uji	Fy (MPa)	Fu (MPa)
1	Sampel 1	229	275,24
2	Sampel 2	238	284,74
3	Sampel 3	240	292,16

Berdasarkan dari Tabel 5.1 diatas. Nilai kuat Tarik rata – rata dari ketiga sampel dapat dihitung sebagai berikut.

Nilai F_y rata-rata :

$$F_y = \frac{229 + 238 + 240}{3} = 235{,}6\ MPa$$

Nilai F_u rata-rata :

$$F_u = \frac{275.24 + 284.74 + 292.16}{3} = 284{,}05\ MPa$$

5.2 Uji Geser Baut

Pengujian gsesr baut dilaksanakan untuk menegtahui kuat geser baut yang dignakan sebagai sambungan pada rangka atap. Pada pengujian kuat geser baut digunakan 3 sampel baut dengan diameter 8mm. Dari pengujian baut yang telah dilakukan, maka didapatkan data pengujian yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kuat geser baut tersebut. Adapun contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat geser baut sampel 1 yaitu.

$$R_n = \frac{P_{max}}{A}$$

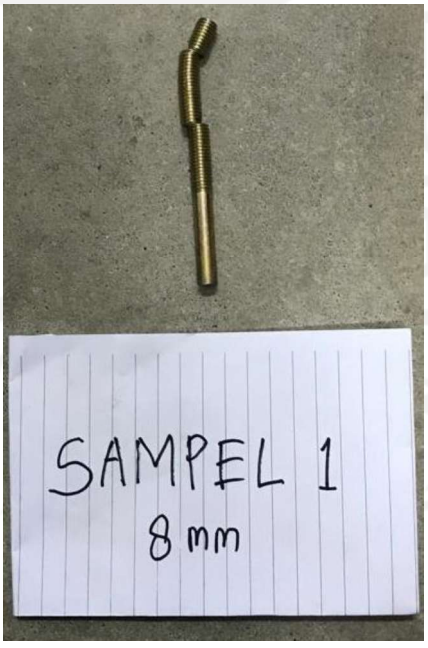
$$R_n = \frac{19000}{47{,}52}$$

$$R_n = 199.94\ MPa$$

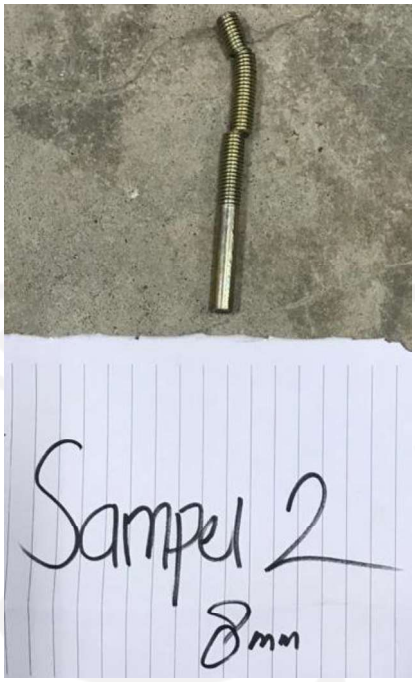
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kuat Geser Baut

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
D baut (mm)	7,78	7,62	7,72	7,71
Pmax (N)	19000	20000	20000	19667
Kuat geser (MPa)	199,94	219,39	213,75	211,03

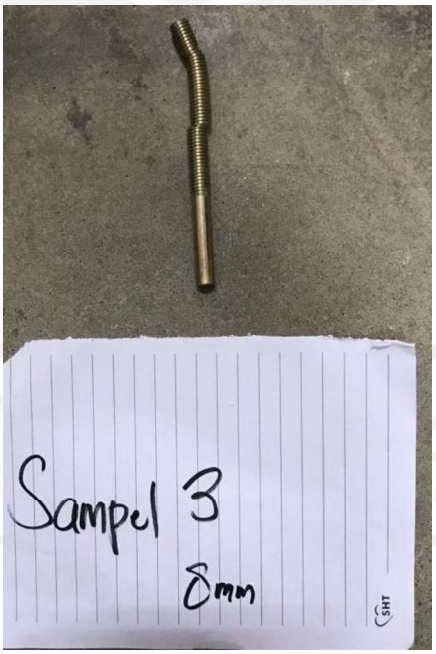
Pada pengujian baut yang telah dilakukan, digunakan benda uji baut dengan spesifikasi kode mutu class 4.6 dengan material low carbon steel. Sehingga dapat diketahui mutu baut tersebut yaitu 393,01 MPa. Akan tetapi pada pengujian geser yang telah dilakukan, didapatkan nilai rata-rata kuat geser benda uji baut tersebut yaitu 211,03 MPa, maka dapat diketahui bahwa kualitas baut yang digunakan pada pengujian ini lebih rendah dari standar mutu baut yang ada. berikut ini merupakan gambar kondisi baut setelah pengujian geser baut.



Gambar 5.6 Kondisi Baut Sampel 1 Setelah Pengujian



Gambar 5.7 Kondisi Baut Sampel 2 Setelah Pengujian



Gambar 5.8 Kondisi Baut Sampel 3 Setelah Pengujian

Dari hasil uji geser baut yang telah dilakukan, maka diperoleh kondisi baut setelah pengujian seperti gambar 5.6, gambar 5.7 dan gambar 5.8 diatas. Dari kondisi tersebut diketahui kondisinya tidak bersifat getas, karena sampel uji baut tersebut tidak putus dan hanya membengkok.

5.3 Perhitungan Ulang Kapasitas Tekan Menggunakan ELM Menggunakan Data Hasil Uji Lab

Setelah memproleh data hasil pengujian secara langsung di lab seperti nilai Fy dan Fu, maka tahap selanjutnya menghitung kapasitas tekan rangka atap menggunakan metode ELM.

5.3.1 Kapasitas Tekan Analisis ELM Rangka Atap Variasi 1 Baut

Berikut ini perhitungan kapasitas tekan rangka atap menggunakan ELM.

1. Penampang Profil Variasi 1 Baut Sambungan

   L = 2000 mm

   H = 1113 mm

   b = 14,128 mm

   h = 29,142 mm

   A_g = 104,6 mm^2

   I_y = 3429,3 mm^4

   $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$

   $= \sqrt{\frac{3429.3}{104.6}}$

   = 5,726 mm

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif (λ)

   $\frac{K.L}{r} \geq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

   $\frac{1x1113}{5{,}726} \geq 4{,}71\sqrt{\frac{200000}{235{,}6}}$

   $194{,}377 \geq 137{,}229$

   Dari hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai $\frac{K.L}{r} \geq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka diketahui bahwa kondisi benda uji tekuk elastis.

3. Menghitung Nilai Tegangan Tekuk Kritis (F_{cr})

Setelah diketahui benda uji mengalami tekuk inelastic, maka nilai tegangan tekuk kritis (F_{cr}) yaitu.

$F_{cr} = 0{,}877$ x Fe

Untuk mendapatkan nilai tegangan tekuk kritis elastis (F_e) yaitu menggunakan persamaan dibawah ini

$$F_e = \frac{\pi^2 . E}{(K.L/r)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \; x \; 200000}{194{,}377^2}$$

$$F_e = 52{,}192 \; Mpa$$

Maka nilai tegangan tekuk kritis yang diperoleh yaitu

$F_{cr} = 0{,}877$ x Fe

$F_{cr} = 0{,}877$ x $52{,}192$

$F_{cr} = 45{,}772 \; Mpa$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil (P_n)

Setelah mendapatkan nilai F_{cr} dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan profil (P_n) yaitu

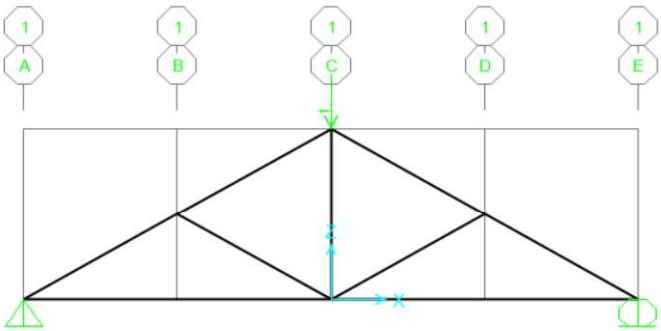
$\varphi P_n =$ ϕ x F_{cr} x A

$\varphi P_n = 0{,}9$ x $45{,}772$ x $104{,}599$

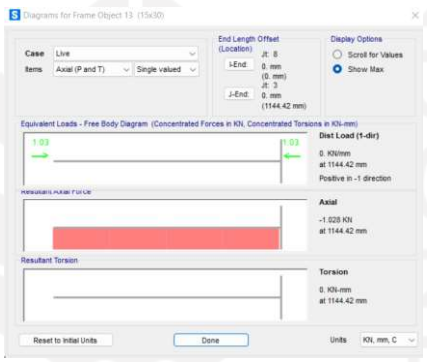
$\varphi P_n = 4{,}308$ KN

5. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Untuk menghitung beban pada titik puncak rangka atap menggunakan perbandingan segitiga yang dilakukan dengan memberikan beban sebesar 1 KN di titik puncak rangka atap. Setelah pemberian beban sebesar 1 KN dapat dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap untuk memperoleh nilai aksial batang. Berikut ini gambar pemberian beban 1 KN dan hasil nilai beban aksial pada batang tekan.



Gambar 5.9 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 5.10 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pembebanan 1kN

Dari Gambar 5.10 diatas dapat diketahui nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan diperoleh sebesar 1,028 KN yang akan digunakan pada perbandingan segitiga dengan nilai φPn sebesar 4,3089 KN

Adapun persamaan segitiga yang digunakan sebagai berikut,

$$\frac{1kN}{Pn} = \frac{P}{\varphi Pn}$$

$$\frac{1\ kN}{1{,}028\ kN} = \frac{P}{4{,}308\ kN}$$

$$P = \frac{1\ \times 4{,}308}{1{,}028}$$

$$P = 4{,}192\ kN$$

Maka diperoleh kapasitas tekan rangka atap hasil ELM sebesar 4,192 KN.

5.3.2 Kapasitas Tekan Analisis ELM Rangka Atap Variasi 3 Baut

Berikut ini perhitungan kapasitas tekan rangka atap menggunakan ELM.

1. Penampang Profil Variasi 3 Baut Sambungan

L = 2000 mm

H = 1028 mm

b = 14,128 mm

h = 29,142 mm

Ag = 104,599 mm2

Iy = 3429,3 mm4

ry $= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$

$= \sqrt{\frac{3429,3}{104,599}}$

= 5.726 mm

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif (λ)

$\frac{K.L}{r} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$\frac{0,7x1028}{5,726} \geq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{235,6}}$

$125,672 \leq 137,229$

Dari hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai $\frac{K.L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka diketahui bahwa kondisi benda uji tekuk inelastis.

3. Menghitung Nilai Tegangan Tekuk Kritis (F_{cr})

Setelah diketahui benda uji mengalami tekuk inelastic, maka nilai tegangan tekuk kritis (F_{cr}) yaitu.

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) F_y$$

Untuk mendapatkan nilai tegangan tekuk kritis elastis (F_e) yaitu menggunakan persamaan dibawah ini

$$F_e = \frac{\pi^2 . E}{(K.L/r)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \, x \, 200000}{125{,}672^2}$$

$$F_e = 124{,}856 \; Mpa$$

Maka nilai tegangan tekuk kritis yang diperoleh yaitu

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) F_y$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{235{,}6}{285{,}907}}\right) 235{,}6$$

$$F_{cr} = 106{,}948 \; Mpa$$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil (P_n)

   Setelah mendapatkan nilai F_{cr} dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan profil (P_n) yaitu

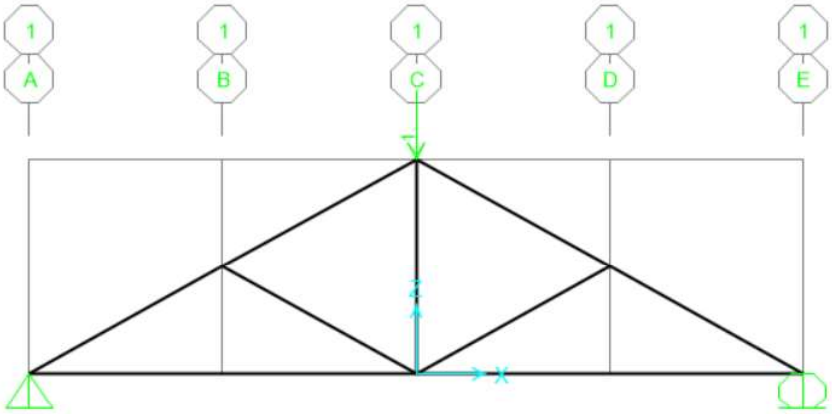
   $\varphi P_n = \phi$ x F_{cr} x A

   $\varphi P_n = 0{,}9$ x $106{,}948$ x $104{,}599$

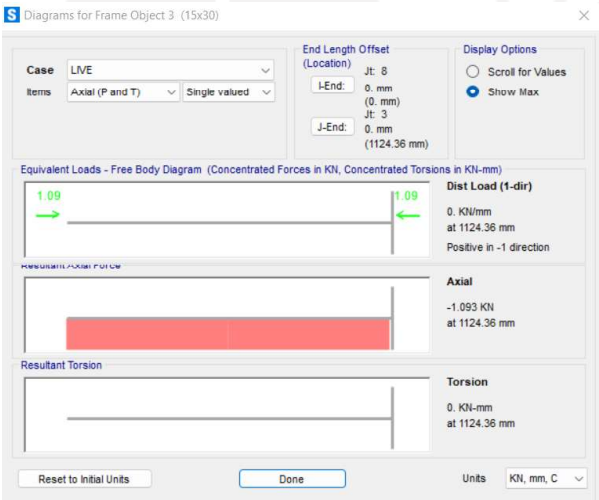
   $\varphi P_n = 10{,}068$ KN

5. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

   Untuk menghitung beban pada titik puncak rangka atap menggunakan perbandingan segitiga yang dilakukan dengan memberikan beban sebesar 1 KN di titik puncak rangka atap. Setelah pemberian beban sebesar 1 KN dapat dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap untuk memperoleh nilai aksial batang. Berikut ini gambar pemberian beban 1 KN dan hasil nilai beban aksial pada batang tekan.



Gambar 5.11 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 5.12 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pembebanan 1kN

Dari Gambar 5.12 diatas dapat diketahui nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan diperoleh sebesar 1,093 KN yang akan digunakan pada perbandingan segitiga dengan nilai φPn sebesar 10.308 KN

Adapun persamaan segitiga yang digunakan sebagai berikut,

$$\frac{1kN}{Pn} = \frac{P}{\varphi Pn}$$

$$\frac{1\ kN}{1{,}093\ kN} = \frac{P}{10{,}068\ kN}$$

$$P = \frac{1 \times 10{,}068}{1{,}093}$$

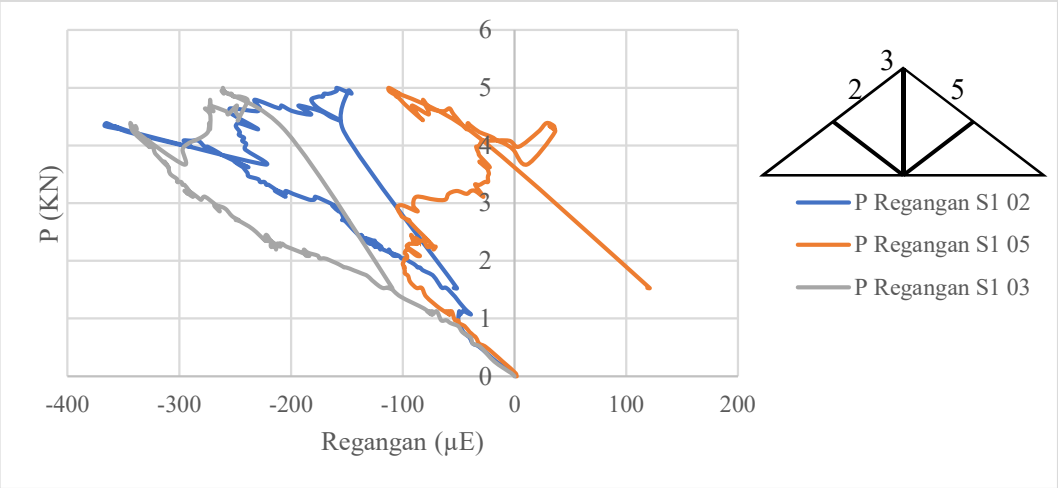
$$P = 9{,}21\ kN$$

Maka diperoleh kapasitas tekan rangka atap hasil ELM sebesar 9,21 KN.

5.4 Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

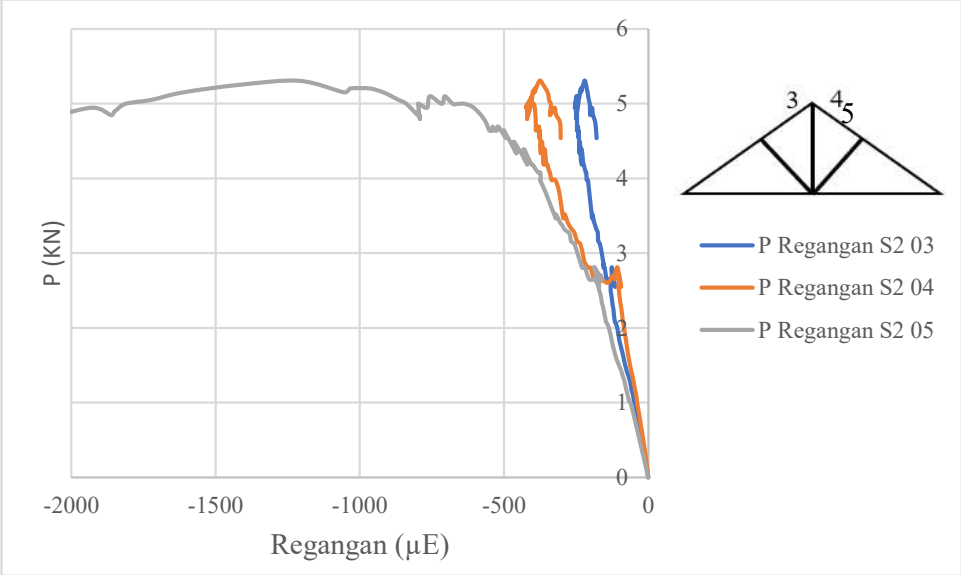
Dilakukan pengujian kuat tekan rangka atap untuk mengetahui kekuatan tekan dari rangka atap yang direncanakan. Pada pengujian kuat tekan rangka atap digunakan 2 variasi jumlah baut sambungan yaitu 1 baut dan 3 baut dengan masing-masing 2 sampel.

5.4.1 Uji Tekan Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut



Gambar 5.13 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap 1 Baut Sambungan Sampel 1

Dari grafik pada gambar 5.13 diatas dapat diektahui bahwa respon awal terlihat simetrik sampai 1 KN baik *strain gauge* 2, 3 dan 5 ,setelah dari beban 1 KN strain 2 dan 5 mulai terjadi tarik karena nilai regangan nya berkurang pada strain 5 sampai tarik murni sedangkan pada strain 2 terjadi tekan Kembali , dapat diketahui bahwa pada beban puncak terjadi regangan sebesar 350 µE sehingga belum terjadi regangan leleh.



Gambar 5.14 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap 1 Baut Sambungan Sampel 2

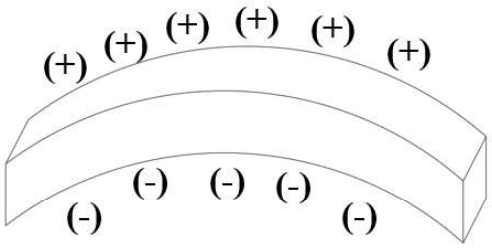
Dari grafik pada gambar 5.14 diatas dapat terkonfirmasi regangan pada sisi *strain gauge* 04 lebih dominan dibandingan pada *strain gauge* 03 mengindisikasikan tekuk tidak simetris lebih condong ke sisi kanan .Regangannya masih kurang dari regangan leleh hal tersebut juga dapat dibuktikan pada kondisi rangka atap setelah pengujian gambar 5.15 dan gambar 5.16 berikut ini.

Gambar 5.15 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 1

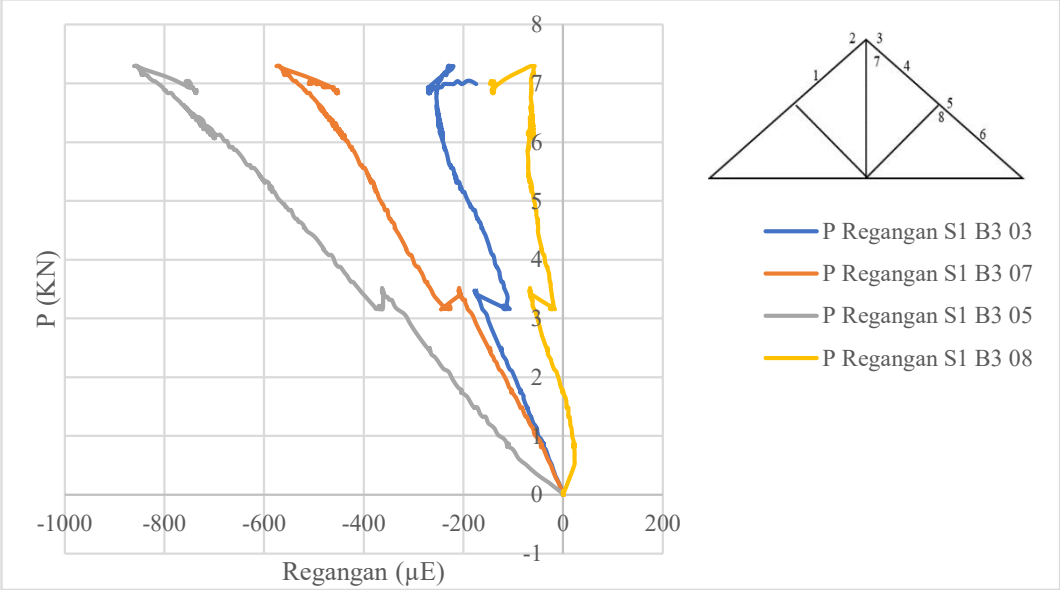
Gambar 5.16 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 2

5.4.2 Uji Tekan Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut

Pada uji tekan rangka atap variasi 3 baut sambungan terdapat perubahan posisi strain gauge dibandingkan dengan variasi 1 baut sambungan yang awalnya hanya di buat 1 sisi pada sisi atas dekat sambungan diubah menjadi 2 sisi atas dan sisi bawah untuk mengetahui momen yang terjadi di dekat sambungan. Berikut ini adalah gambar ilustrasi terjadinya momen pada rangka atap pada gambar 5.17.

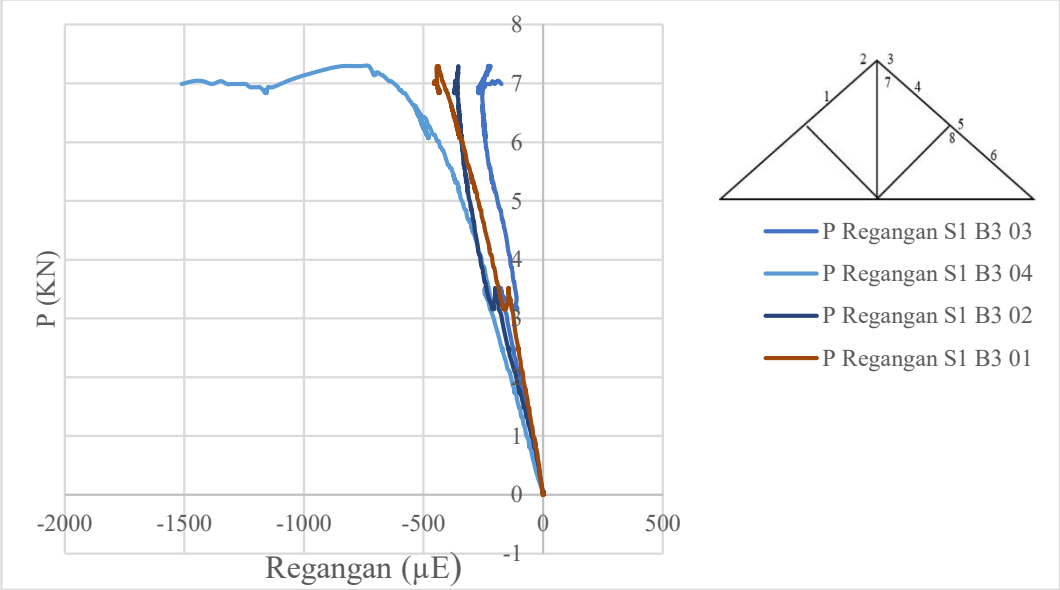


Gambar 5.17 Ilustrasi Momen Yang Terjadi Pada Rangka Atap



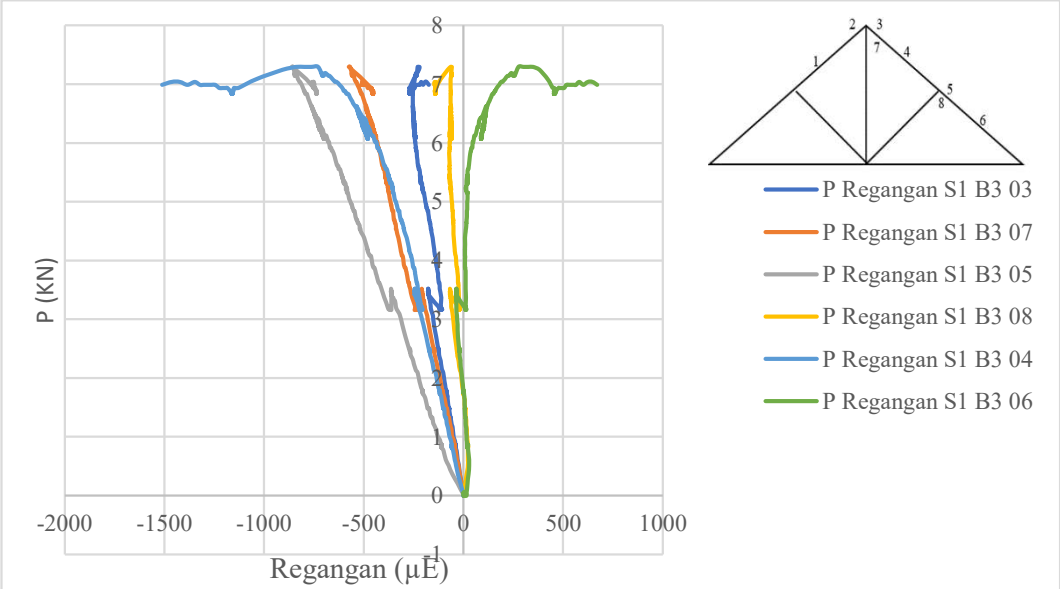
Gambar 5.18 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 03, 05, 07, 08 Sambungan 3 Baut Sampel 1

Dari grafik pada gambar 5.18 tersebut dapat terlihat pada batang atas terjadi tekan murni karena grafiknya 1 garis yaitu pada *strain gauge* 03 dan 04 yang berbeda dengan sambungan pada batang bawah dari awal pembebanan terjadi bending momen dapat dilihat pada strain gauge 05 dan 08, dan terjadi fenomena penurunan pada beban 3,366 KN yang diakibatkan oleh penyesuaian kekencangan pada sambungan rangka atap.



Gambar 5.19 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 01, 02, 03, 04 Sambungan 3 Baut Sampel 1

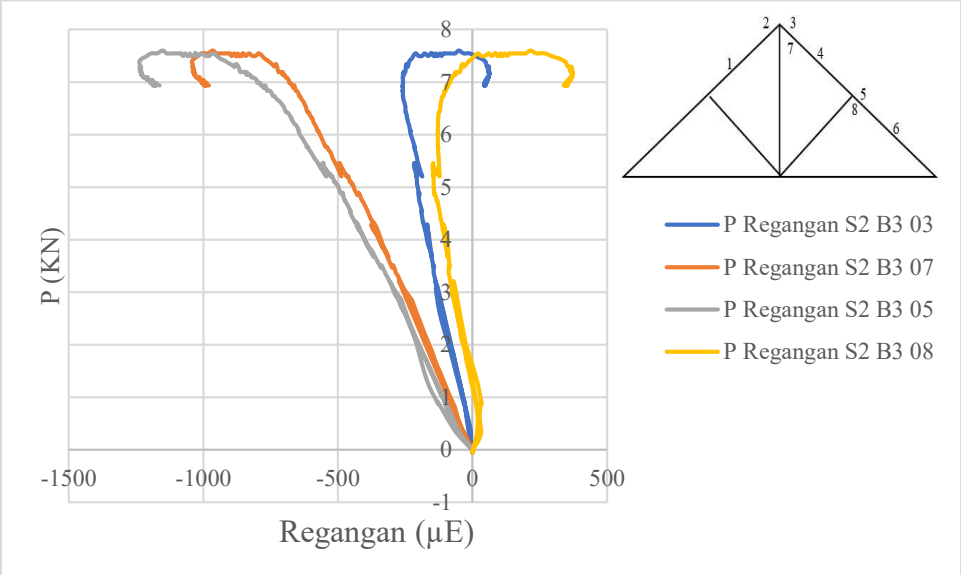
Dari grafik pada gambar 5.19 dapat diketahui bahwa respon struktur tidak simetris terlihat pada *strain gauge* 04 regangan nya lebih besar dari *strain gauge* 01 jadi lebih condong ke sisi tumpuan roll.



Gambar 5.20 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 03, 04, 05, 06, 07, 08 Sambungan 3 Baut Sampel 1

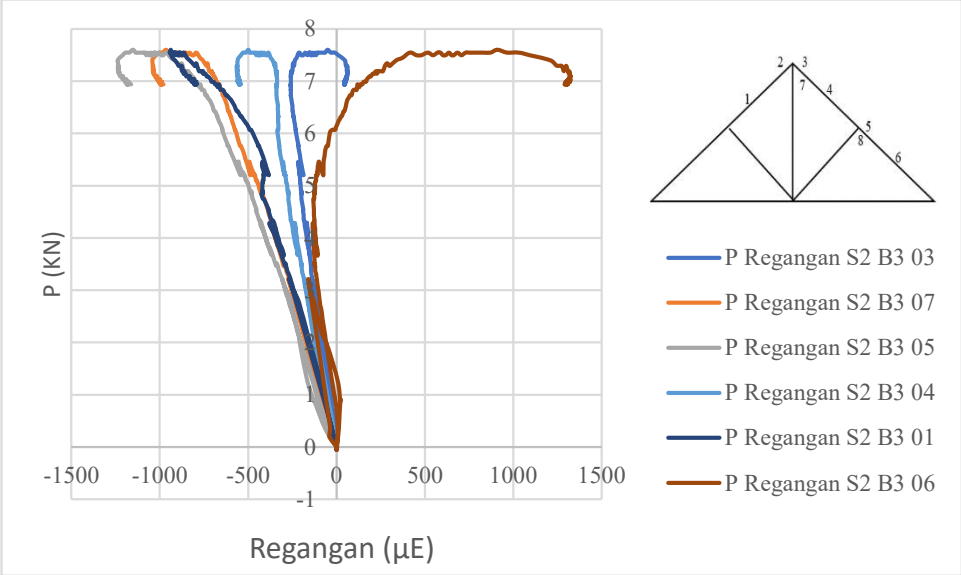
Dari grafik pada gambar 5.20 membuktikan nilai regangan yang berlawanan arah antara batang atas dan batang bawah sehingga fenomena tekuknya berlawanan arah, pada batang atas yaitu strain gauge 06 tekuk ke arah atas yang dibuktikan dengan nilai regangan bernilai positif, sedangkan pada batang bawah yaitu strain gauge 04 ke arah bawah yang dibuktikan dengan nilai regangannya bernilai negatif.

Dari gambar 5.18 sampai 5.20 diperoleh kesimpulan yaitu respon struktur condong ke arah sisi roll, dan terjadinya penurunan beban pada 3,366 KN yang disebabkan penyesuaian kekencangan sambungan rangka atap, serta pola tekuk yang terjadi pada batang atas kearah bawah sedangkan batang bawah kearah atas.



Gambar 5.21 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 03, 05, 07, 08 Sambungan 3 Baut Sampel 2

Dari grafik pada gambar 5.21 diatas dapat diketahui bahwa sejak awal pembebanan terjadi bending momen baik sambungan atas maupun sambungan bawah yang dapat dibuktikan sejak awal pembebanan grafik sudah terpisah, lalu terjadi penurunan pada beban 5,049 KN yang diakibatkan oleh penyesusaian kekencangan pada sambungan rangka atap.



Gambar 5.22 Grafik P Regangan Uji Tekan Rangka Atap *Strain Gauge* 01, 03, 04, 05, 06, 07 Sambungan 3 Baut Sampel 2

Dari grafik pada gambar 5.22 diatas dapat diketahui bahwa ada ketidaksimetrisan respon struktur yang lebih condong kearah sisi tumpuan roll yang dibuktikan dengan regangan pada *strain gauge* 06 lebih besar dan terjadi tekuk *inelastic* karena terjadi regangan leleh.

Dari gambar 5.21 dan gambar 5.22 dapat diketahui secara umum sambungan 3 baut memberikan perubahan menjadi tekuk *inelastic*, lalu adanya fenomena penurunan beban akibat penyesuaian kekencangan baut, serta respon condong kearah tumpuan roll. Untuk mengetahui kondisi rangka atap setelah uji tekan dapat dilihat pada gambar 5.23 dan 5.24.

Gambar 5.23 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 1

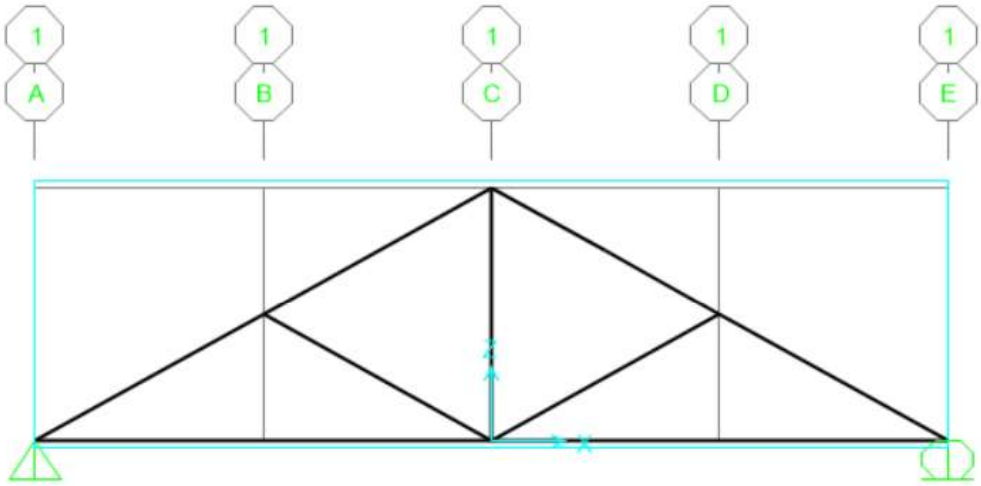
Gambar 5.24 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 2

5.5 Pemodelan Rangka Atap Untuk Analisis DAM SAP2000

Setelah melakukan uji tekan rangka atap tahap selanjutnya yaitu melakukan pemodelan rangka atap variasi 1 baut dan 3 baut sambungan sebelum dilakukan analisis akurasi DAM SAP2000 terhadap hasil uji lab.

5.5.1 Pemodelan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Pada analisis DAM rangka atap akan diaplikasikan menggunakan aplikasi SAP2000 dengan menggunakan dimensi secara ril dan hasil pengujian tarik sebelumnya. Berikut ini hasil pemodelan rangka atap dengan variasi 1 baut pada SAP2000 pada gambar 5.21 berikut.

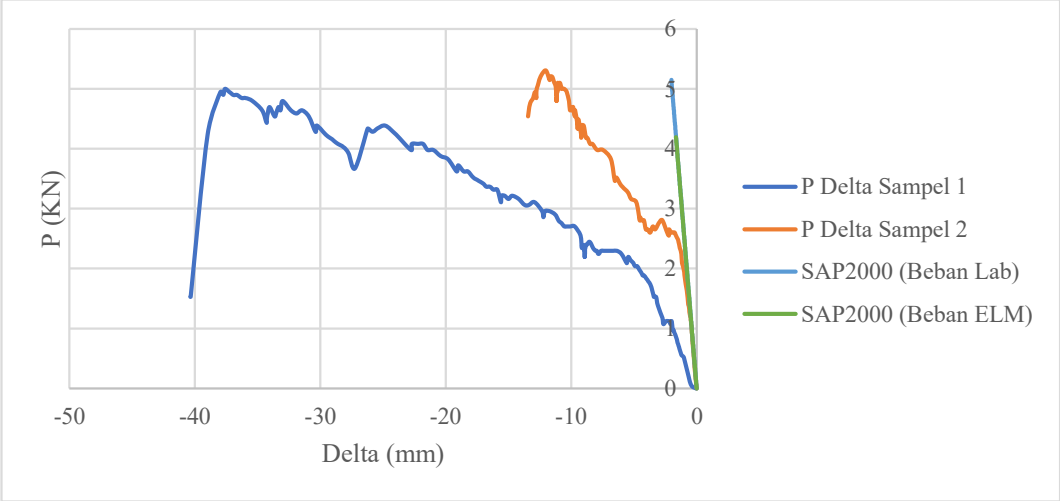


Gambar 5.25 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pada SAP2000

Setelah melakukan pemodelan rangka atap tahap selanjutnya yaitu kalibrasi hasil P-delta dan memasukkan beban notional.

1. Kalibrasi Hasil P-Delta SAP2000 menggunakan P hasil uji lab dengan P hasil perhitungan ELM

   Untuk menentukan beban puncak yang digunakan pada analisis DAM SAP200 maka dilakukan kalibrasi P-Delta antara hasil uji lab dengan hasil perhitungan untuk menentukan beban puncak rangka atap yang digunakan pada analisis DAM SAP2000. Diketahui beban rata-rata hasil uji lab sebesar 5,151 KN dan hasil perhitungan sebesar 4,192 untuk lebih jelas berikut ini grafik hasil kalibrasi P-Delta pada gambar 5.26.



Gambar 5.26 Grafik Kalibrasi P-Delta SAP2000 Menggunakan Beban Puncak Hasil Uji Lab Dan Hasil Perhitungan Rangka Atap Variasi 1 Baut

Dari grafik diatas dapat dilihat hasil P-Delta SAP2000 menunjukan bahwa beban hasil uji lab dan beban hasil perhitungan ELM satu garis lurus dan berhimpitan dengan P-Delta yang artinya sampai kondisi sebelum mulai terjadi kerusakan, maka nilai beban-lendutan SAP2000 sama dengan hasil uji lab. Permodelan SAP2000 sudah benar dalam memprediski efek P-Delta namun tidak dapat menampilkan efek kerusakan dikarenakan pada SAP2000 profil dianggap sempurna serta kerusakan profil/sambungan yang memang tidak dimodelkan pada SAP2000 sehingga tidak terjadi efek softening (kekakuan rangka yang berkurang). karena kondisi profil dianggap sempurna, SAP2000 tidak dapat memodelkan bentuk lendutan yang tidak simetris, itulah mengapa grafik P-delta SAP2000 linier lurus, sedangkan yang terjadi di lab, terjadi efek lendutan yang tidak simetris condong kea rah tumpuan rol yang menyebabkan P-Delta hasil uji lab berbelok, hal ini berarti pada benda uji lab, sisi roll dari rangka memiliki kekuatan dan kekakuan yg lebih lemah dari sisi tumpuan sendi. Pada beban hasil uji lab memiliki P yang lebih besar, sehingga pada analisis DAM SAP2000 digunakan P hasil rata-rata uji lab sebesar 5,151 KN.

2. Beban National (N_i)

Analisis rangka atap pada DAM harus diberikan beban national dengan tujuan untuk menghitung pengaruh dari ketidaksempurnaan dari rangka atap

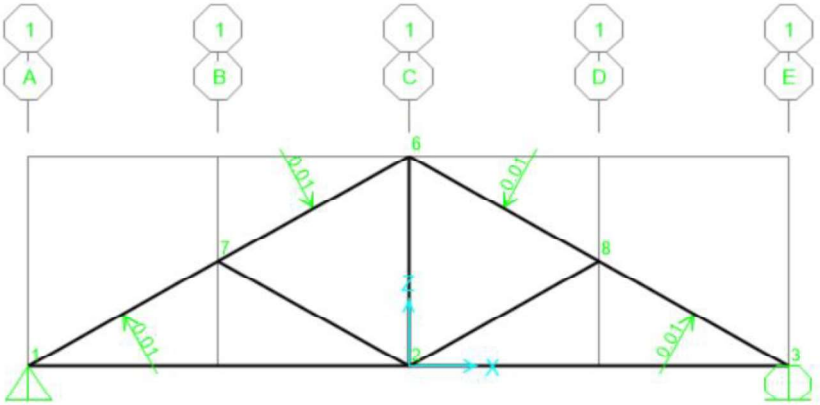
yang pada dasarnya memiliki cacat bawaan sehingga menhasilkan efek destabilising. Berikut ini merupakan persamaan dalam perhitungan beban notional.

$N_i = 0{,}002 \times P_n$

$N_i = 0{,}002 \times 5{,}151$

$N_i = 0{,}0103\ kN$

Adapun letak beban national yang terdapat pada rangka atap dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.27 Memasukan Beban National Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Arah pemberian beban notional diatas berdasarkan bentuk rangka atap hasil setelah pengujian di lab seperti pada gambar 5.15.

3. Reduksi Kekakuan

Reduksi kekakuan dilakukan karena pada profil baja terjadi leleh sehingga kekuatan profil berkurang sehingga perlu penyesuaian kekakuan profil. Berikut ini persamaan yang digunakan.

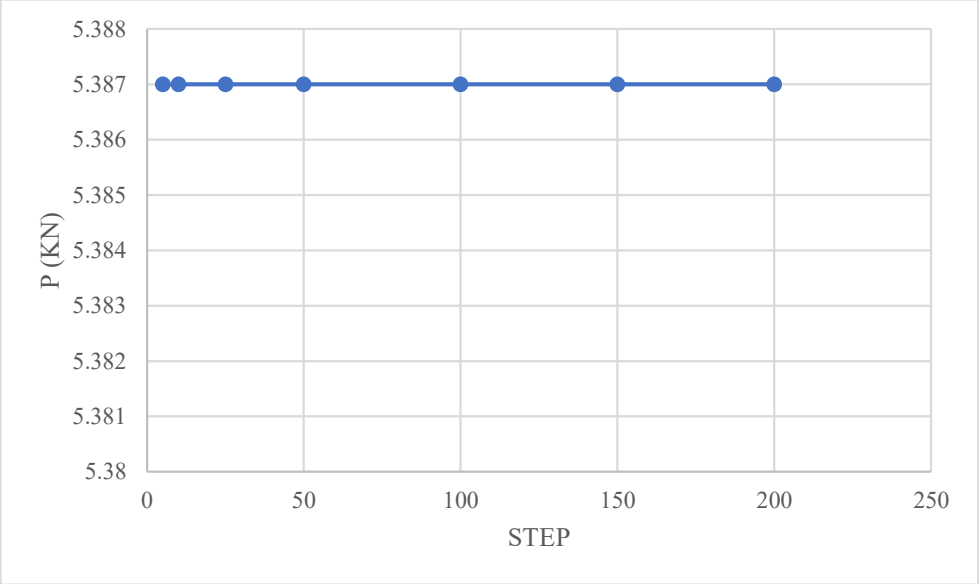
$EI^- = \varphi \times \tau b \times E$

$EI^- = 0{,}8 \times 1{,}0 \times 200000$

$EI^- = 160000\ Nmm^2$

4. Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial

   Dilakukan kalibrasi jumlah step dengan beban aksial untuk menentukan jumlah step yang stabil pada load case *P-Delta.* Grafik kalibarsi jumlah step dengan beban aksial dapat dilihat pada gambar berikut.

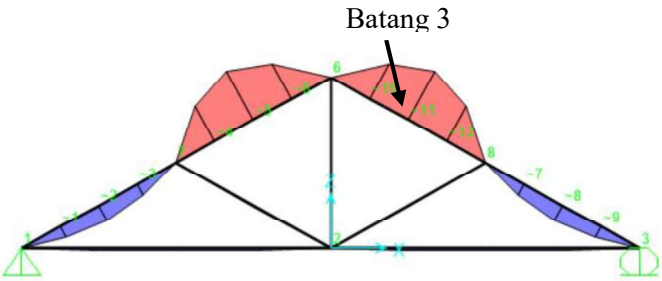


Gambar 5.28 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

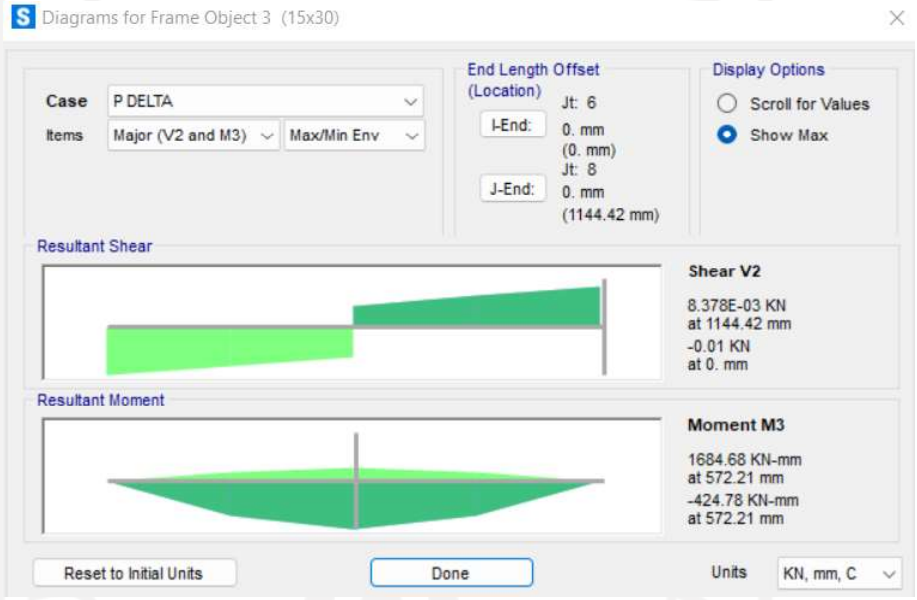
Dari grafik pada gambar 5.28 diketahui hasil kalibrasi, semua hasil step stabil sehingga dapat digunakan jumlah step sebanyak 100.

5. Penentuan Batang Gagal Tekuk

   Untuk menentukan batang yang terjadi gagal tekuk dengan melakukan *running* pada SAP2000 dengan *case P-Delta* lalu ditampilkan bending momen sehingga terlihat batang dengan momen paling besar. Adapun gambar bending momen diagram hasil *running* SAP200 dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 5.29 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

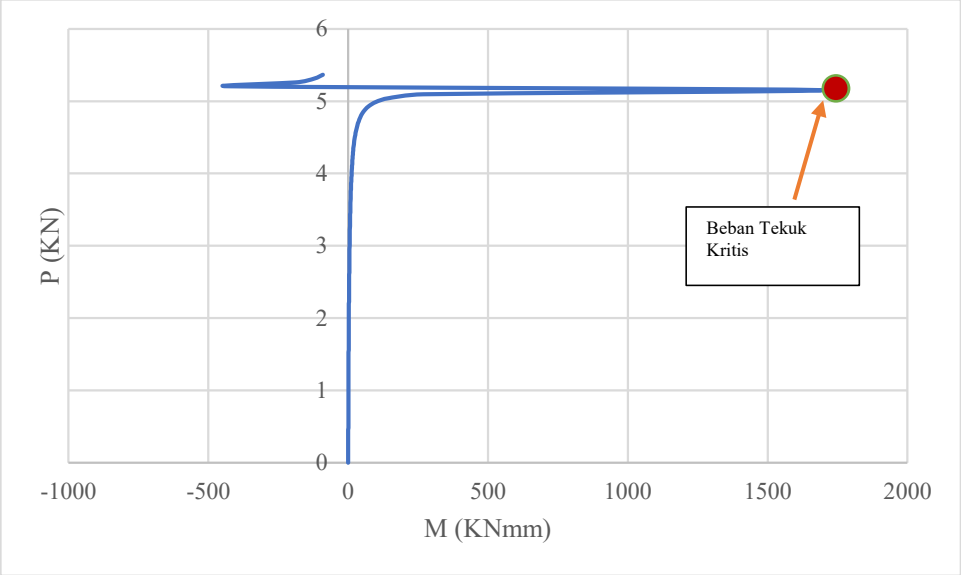


Gambar 5. 1 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Dari hasil setelah dilakukan running pada SAP2000 dapat di lihat bending momen terbesar yaitu pada batang 3 pada *station* 572,21 sebesar 1684,68 kNmm.

7. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah diketahui batang tekan yang terjadi gagal tekuk pada batang tekan 3 station 572,21 selanjutnya dibuat grafik P-M untuk mengetahui nilai P tekuk.



Gambar 5.30 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Adapun hasil dari grafik pada gabar 5.30 diperoleh kapasitas tekuk kritis rangka atap variasi 1 baut yang didapatkan yaitu sebesar 5,152 kN.

8. Kuat Nominal Penampang

Untuk mengetahui kapasitas nominal penampang struktur, analisa kapasitas tekan yang digunakan memakai metode *Effective Length Method* (ELM). Selanjutnya pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Dengan demikian terdapat Analisa untuk pembatasan pada komponen struktur tersebut. Untuk mendapatkan nilai *safety factor* yang memenuhi syarat SNI 1729:2020 maka diperlukan kalibrasi pada jumlah step yang ada dalam menentukan nilai P_r dan M_r. Kalibrasi jumlah step yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat ≤ 1,0 yaitu didapatkan pada jumlah step ke-73. Adapun data yang telah diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

z = 566,839 mm^3

F_y = 235,6 MPa

P_r = 3,917 kN

P_c = 4,309 kN

$\frac{P_r}{P_c} = \frac{3,917}{4,309}$

= 0,9919

M_r = 20,22 kNmm

$M_c = \varphi \times z \times F_y$

$= \frac{0,9 \times 566,84 \times 235,6}{10^6}$

= 120,193 kNmm

Dari data yang telah didapatkan, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan Analisa pembatasan pada komponen struktur dengan mengacu SNI 1729:2020 yaitu,

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka

$$SF = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{rx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ry}}\right) \leq 1,0$$

$$SF = \frac{3,917}{4,309} + \frac{8}{9}\left(\frac{20,22}{120,193}\right) \leq 1,0$$

$$SF = 0,9919 \leq 1,0$$

Dengan cara yang sama diperoleh kuat nominal penampang step 73 sampai 80 sebagai berikut.

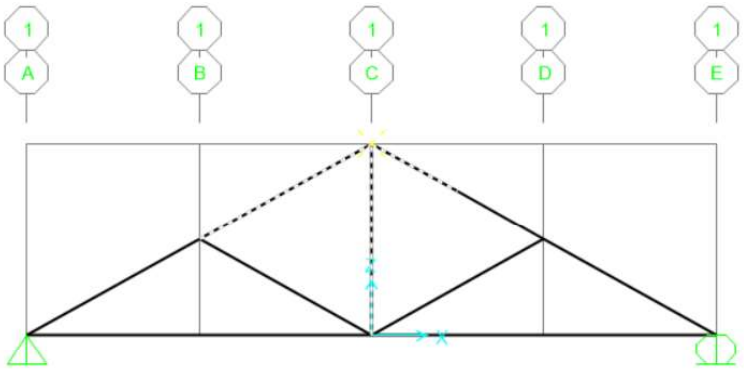
Tabel 5.1 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 73 sampai 80 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Step	Pr	Pc	Mr	Mc	Sf
73	3,917	4,309	11,21	120,1774	0,991942
74	3,97	4,309	11,86	120,1774	1,00905
75	4,024	4,309	12,56	120,1774	1,026759
76	4,078	4,309	13,34	120,1774	1,04506
77	4,131	4,309	14,19	120,1774	1,063647
78	4,185	4,309	15,14	120,1774	1,083206
79	4,238	4,309	16,19	120,1774	1,103272
80	4,292	4,309	17,37	120,1774	1,124532

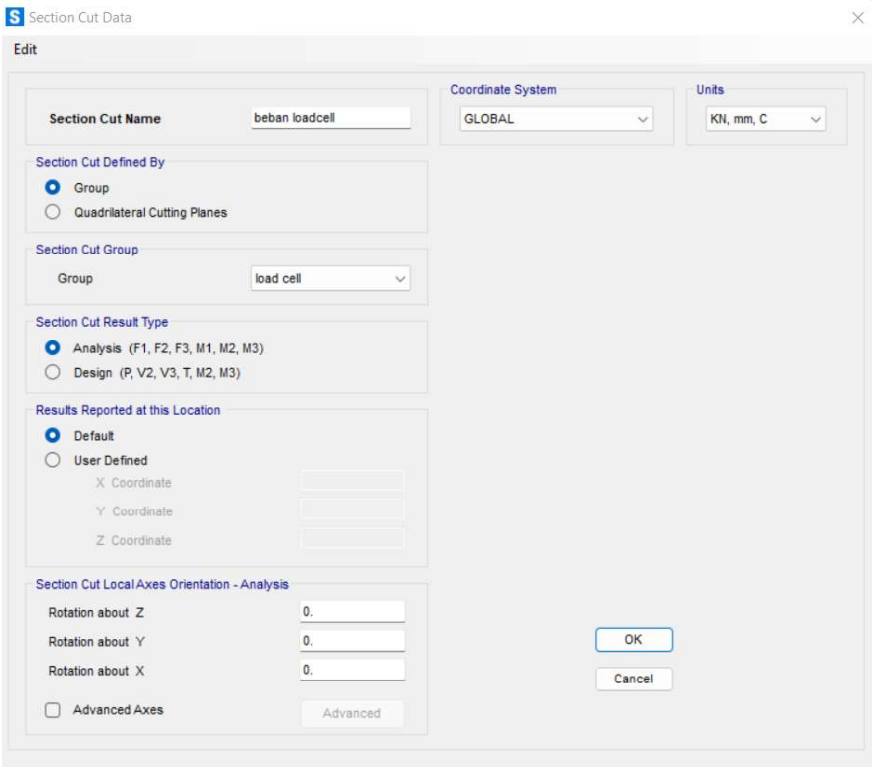
9. Penentuan kapasitas rangka atap metode DAM SAP2000

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan rangka atap dibutuhkan besar gaya yang bekerja pada titik puncak rangka atap saat terjadi beban tekuk kritis (Ketika step 82). Untuk mendapatkannya dilakukan dengan pemodelan section cut.

Pemodelan *section cut* dilakukan untuk memudahkan dalam mendapatkan kapasitas rangka atap setelah dilakukan pembebanan. Pemodelan ini diawali dengan dilakukan *grouping* pada join dan batang tekan pada bagian titik puncak rangka atap tersebut. Adapun pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.31 dan 5.32 dibawah ini



Gambar 5.31 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 5.32 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

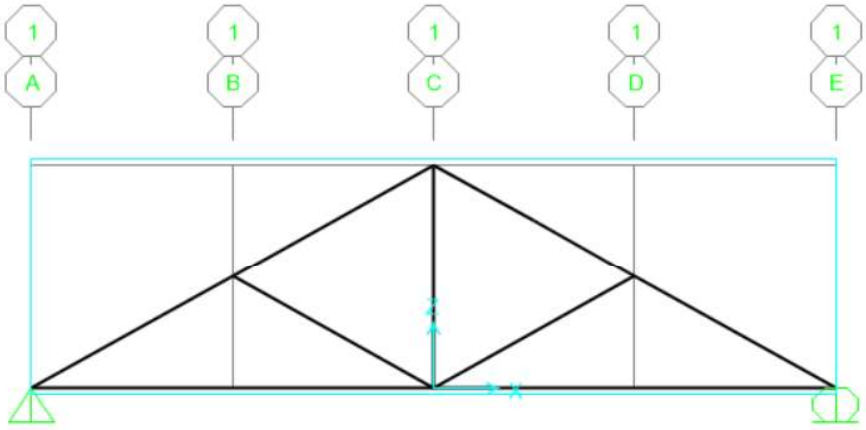
Selanjutnya dapat diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada step 73 sebesar 3,76 KN Seperti pada table berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Output Case	Section Cut	Step-	P (KN)
beban loadcell	P DELTA	70	3,606
beban loadcell	P DELTA	71	3,657
beban loadcell	P DELTA	72	3,709
beban loadcell	P DELTA	73	3,76
beban loadcell	P DELTA	74	3,812
beban loadcell	P DELTA	75	3,863
beban loadcell	P DELTA	76	3,915
beban loadcell	P DELTA	77	3,966
beban loadcell	P DELTA	78	4,018
beban loadcell	P DELTA	79	4,069
beban loadcell	P DELTA	80	4.,21

5.5.2 Pemodelan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

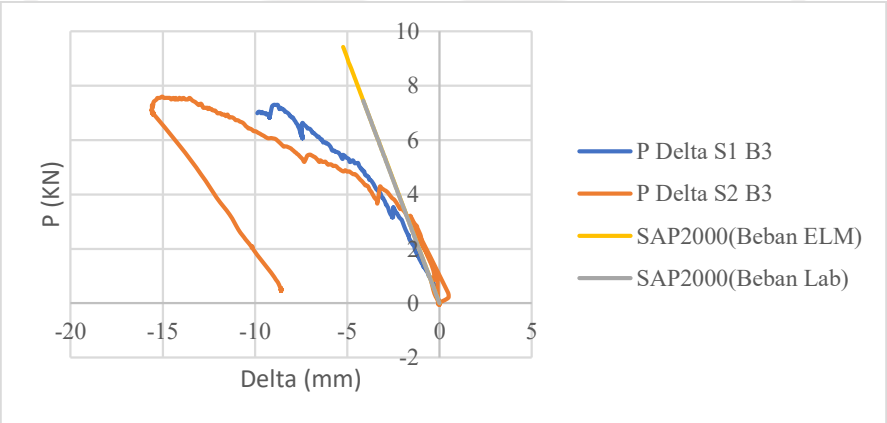
Pada analisis DAM rangka atap akan diaplikasikan menggunakan aplikasi SAP2000 dengan menggunakan dimensi secara ril dan hasil pengujian tarik sebelumnya. Berikut ini hasil pemodelan rangka atap dengan variasi 3 baut pada SAP2000 pada gambar berikut.



Gambar 5.32 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pada SAP2000

1. Kalibrasi Hasil P-Delta SAP2000 menggunakan P hasil uji lab dengan P hasil ELM

   Untuk menentukan beban puncak yang digunakan pada analisis DAM SAP200 maka dilakukan kalibrasi P-Delta antara hasil uji lab dengan hasil perhitungan untuk menentukan beban puncak rangka atap yang digunakan pada analisis DAM SAP2000. Diketahui beban rata-rata hasil uji lab sebesar 7,446 KN dan hasil perhitungan sebesar 9,21 KN untuk lebih jelas berikut ini grafik hasil kalibrasi P-Delta pada gambar 5.33.



Gambar 5.33 Grafik Kalibrasi P-Delta SAP2000 Menggunakan Beban Puncak Hasil Uji Lab Dan Hasil Perhitungan Rangka Atap Variasi 3 Baut

Dari grafik diatas dapat dilihat hasil P-Delta SAP2000 menunjukan bahwa beban hasil uji lab dan beban hasil perhitungan ELM satu garis lurus dan berhimpitan dengan P-Delta hasil uji lab yang artinya sampai kondisi sebelum mulai terjadi kerusakan, maka nilai beban-lendutan SAP2000 sama dengan hasil uji lab. Permodelan SAP2000 sudah benar dalam memprediski efek P-Delta namun tidak dapat menampilkan efek kerusakan dikarenakan pada sap2000 profil dianggap sempurna serta kerusakan profil/sambungan yang memang tidak dimodelkan pada SAP2000 sehingga tidak terjadi efek softening (kekakuan rangka yang berkurang). karena kondisi profil dianggap sempurna, SAP2000 tidak dapat memodelkan bentuk lendutan yang tidak simetris, itulah mengapa grafik P-delta sap2000 linier lurus, sedangkan yang terjadi di lab, terjadi efek lendutan yang tidak simetris (lebih condong ke arah rol). Yang menyebabkan P-Delta hasil uji lab berbelok. Hal ini berarti pada benda uji lab, sisi roll dari rangka memiliki kekuatan dan kekakuan yg lebih lemah dari sisi tumpuan sendi. Pada beban hasil perhitungan ELM memiliki P yang lebih besar, sehingga pada analisis DAM SAP2000 digunakan P hasil perhitungan ELM sebesar 9,21 KN.

2. Beban National (N_i)

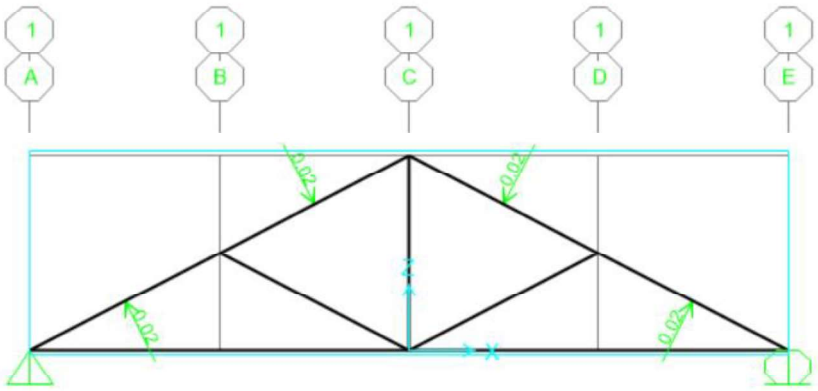
Analisis rangka atap pada DAM harus diberikan beban national dengan tujuan untuk menghitung pengaruh dari ketidaksempurnaan dari rangka atap yang pada dasarnya memiliki cacat bawaan sehingga menhasilkan efek destabilising. Berikut ini merupakan persamaan dalam perhitungan beban notional.

$N_i = 0{,}002 \times \phi P_n$

$N_i = 0{,}002 \times 10{,}068$

$N_i = 0{,}0201\ kN$

Adapun letak beban national yang terdapat pada rangka atap dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.34 Memasukan Beban National Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Arah pemberian beban notional diatas berdasarkan bentuk rangka atap hasil setelah pengujian di lab seperti pada gambar 5.34.

3. Reduksi Kekakuan

   Reduksi kekakuan dilakukan karena pada profil baja terjadi leleh sehingga kekuatan profil berkurang sehingga perlu penyesuaian kekakuan profil. Berikut ini persamaan yang digunakan.

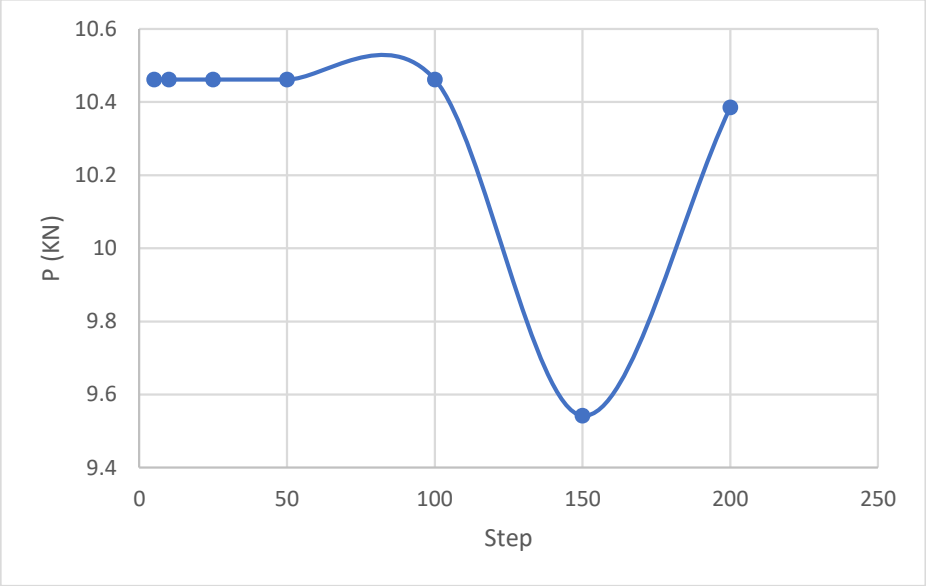
   $EI^{-} = \varphi \times \tau b \times E$

   $EI^{-} = 0{,}8 \times 1{,}0 \times 200000$

   $EI^{-} = 160000\ Nmm^2$

4. Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial

   Dilakukan kalibrasi jumlah step dengan beban aksial untuk menentukan jumlah step yang stabil pada load case *P-Delta.* Grafik kalibarsi jumlah step dengan beban aksial dapat dilihat pada gambar berikut.

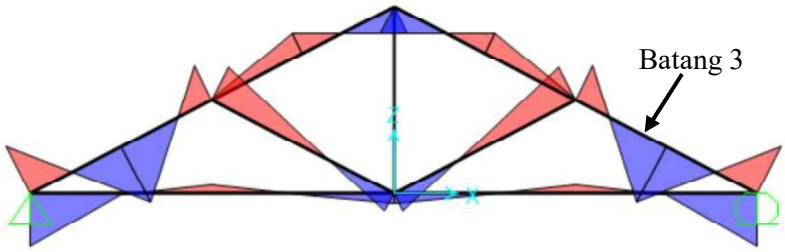


Gambar 5.35 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial

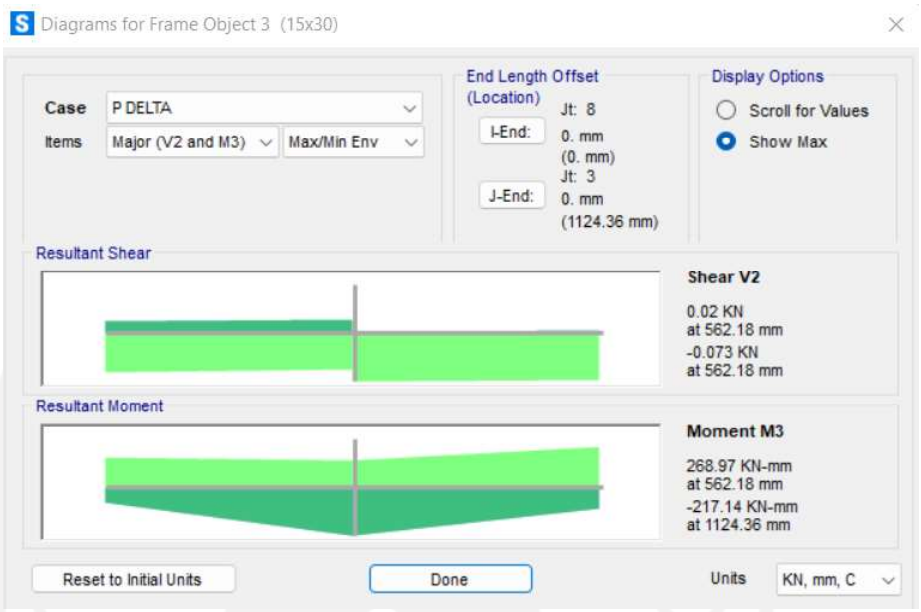
Dari hasil kalibrasi diatas digunakan jumlah step sebanyak 50 dikarenakan pada step 50 stabil.

6. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Untuk menentukan batang yang terjadi gagal tekuk dengan melakukan *running* pada SAP2000 dengan *case P-Delta* lalu ditampilkan bending momen sehingga terlihat batang dengan momen paling besar. Adapun gambar bending momen diagram hasil *running* SAP200 dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 5.36 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut

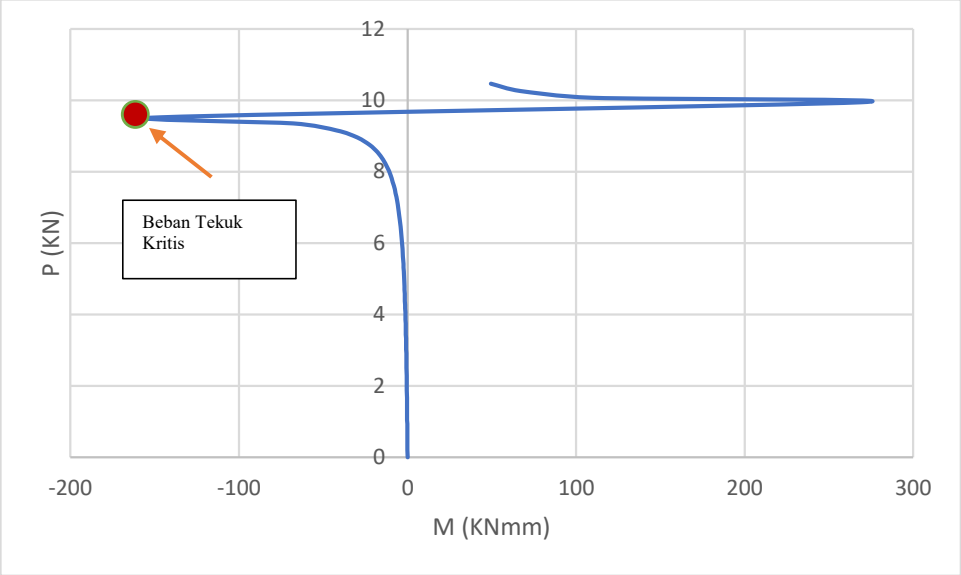


Gambar 5. 3 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Dari hasil setelah dilakukan running pada SAP2000 dapat di lihat bending momen terbesar yaitu pada batang 3 pada *station* 562,18 sebesar 268,97 kNmm.

7. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah diketahui batang tekan yang terjadi gagal tekuk pada batang tekan 3 station 562,18 selanjutnya dibuat grafik P-M untuk mengetahui nilai P tekuk.



Gambar 5.37 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Dari grafik pada gambar 5.37 diatas diketahui hasil kapasitas tekuk kritis rangka atap variasi 1 baut yang didapatkan yaitu sebesar 9,525 kN.

8. Kuat Nominal Penampang

Untuk mengetahui kapasitas nominal penampang struktur, analisa kapasitas tekan yang digunakan memakai metode *Effective Length Method* (ELM). Selanjutnya pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Dengan demikian terdapat Analisa untuk pembatasan pada komponen struktur tersebut. Untuk mendapatkan nilai *safety factor* yang memenuhi syarat SNI 1729:2020 maka diperlukan kalibrasi pada jumlah step yang ada dalam menentukan nilai P_r dan M_r. Kalibrasi jumlah step yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat ≤ 1,0 yaitu didapatkan pada jumlah step ke-41. Adapun data yang telah diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

z = 566,839 mm^3

F_y = 235,6 MPa

P_r = 8,542 kN

P_c = 10,308 kN

$\frac{P_r}{P_c} = \frac{8,542}{10,308}$

= 0.828

M_r = 17,75 kNmm

$M_c = \varphi \times z \times F_y$

$= \frac{0,9 \times 566,84 \times 235,6}{10^6}$

= 120,193 kNmm

Dari data yang telah didapatkan, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan Analisa pembatasan pada komponen struktur dengan mengacu SNI 1729:2020 yaitu,

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka

$$SF = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{rx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ry}}\right) \leq 1,0$$

$$SF = \frac{8,542}{10,308} + \frac{8}{9}\left(\frac{17,75}{120,193}\right) \leq 1,0$$

$$SF = 0,9599 \leq 1,0$$

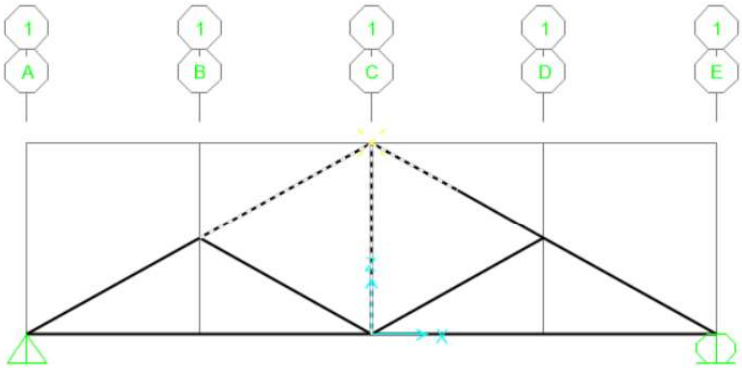
Dengan cara yang sama diperoleh kuat nominal penampang step 41 sampai 50 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 41 sampai 50 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

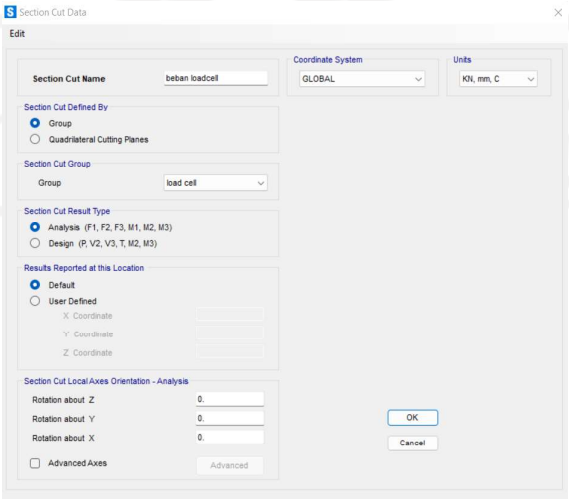
Step	Pr (KN)	Mr (KNmm)	Pc KN)	Mc (KNmm)	SF
41	8,334	17,75	10,308	120,1774	0,939786
42	8,749	22,48	10,308	120,1774	1,015031
43	8,954	29,72	10,308	120,1774	1,088469
44	9,157	42,14	10,308	120,1774	1,200027
45	9,354	67,83	10,308	120,1774	1,409153
46	9,525	146,44	10,308	120,1774	2,007179
47	9,947	268,97	10,308	120,1774	2,954408
48	10,071	109,61	10,308	120,1774	1,787736
49	10,259	67,13	10,308	120,1774	1,491772
50	10,459	49,52	10,308	120,1774	1,380922

9. Penentuan kapasitas rangkta atap metode DAM SAP2000

   Untuk mendapatkan nilai kuat tekan rangka atap dibutuhkan besar gaya yang bekerja pada titik puncak rangka atap saat terjadi beban tekuk kritis (Ketika step 41). Untuk mendapatkannya dilakukan dengan pemodelan section cut. Pemodelan *section cut* dilakukan untuk memudahkan dalam mendapatkan kapasitas rangka atap setelah dilakukan pembebanan. Pemodelan ini diawali dengan dilakukan *grouping* pada join dan batang tekan pada bagian titik puncak rangka atap tersebut. Adapun pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan 5.39 dibawah ini



Gambar 5.38 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 5.39 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Selanjutnya dapat diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada step 41 sebesar 7,733 KN.

Tabel 5.4 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Output Case	Section Cut	Step-	P (KN)
beban loadcell	P DELTA	40	7,544
beban loadcell	P DELTA	41	7,733
beban loadcell	P DELTA	42	7,921
beban loadcell	P DELTA	43	8,11
beban loadcell	P DELTA	44	8,298
beban loadcell	P DELTA	45	8,487
beban loadcell	P DELTA	46	8,676
beban loadcell	P DELTA	47	8,864
beban loadcell	P DELTA	48	9,053
beban loadcell	P DELTA	49	9,241

5.5.3 Pembahasan Perbandingan Tingkat Akurasi Hasil DAM SAP2000 dan ELM Terhadap Hasil Uji Lab

Setelah melakukan pemodelan dan analisis kuat tekan rangka atap metode ELM dan DAM SAP2000 kemudian dapat diperoleh tingkat akurasi hasil DAM SAP2000 dengan hasil pengujian langsung di laboratorium. Berikut ini tabel rekapitulasi hasil uji tekan rangka atap di laboratorium, hasil ELM dan hasil DAM SAP2000.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Angka Error ELM Dan DAM SAP2000 Uji Tekan Rangka Atap Terhadap Hasil Uji Laboratorium

Kapasitas Rangka Uji Lab (KN)		Kapasitas Rangka DAM (KN)		Kapasitas Rangka ELM (KN)		Error DAM (%)		Error ELM (%)	
1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut
5,15	7,45	3,76	7,73	4,19	9,21	27	-3,85	18,63	-23,7

Dari tabel 5.6 diatas dapat diketahui hasil prediksi kuat tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan hasil DAM SAP2000 dan ELM sebesar 3,76 KN dan 4,19 KN yang dibandingkan hasil uji lab sebesar 5,15 KN, sehingga dapat diketahui nilai DAM dan ELM lebih konservatif dibandingkan dengan hasil uji lab. Kemudian berdasarkan nilai error hasil prediksi DAM SAP2000 sebesar 27% dan ELM sebesar 18,63% maka dapat disimpulkan metode ELM lebih akurat untuk variasi 1 baut.

Prediksi kuat tekan rangka atap variasi 3 baut sambungan hasil DAM SAP2000 dan ELM sebesar 7,73 KN dan 9,21 KN sedangkan hasil uji lab sebesar 7,45 KN, pada hasil prediksi DAM SAP2000 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dengan angka error sebesar -3,85% sedangkan ELM sebesar -23,7%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi DAM lebih akurat pada variasi 3 baut.

Ketidakakuratan hasil DAM terhadap hasil uji lab karena pada uji lab terdapat ketidaksimetrisan respon struktur pada rangka yang dibuktikan pada gambar 5.18 sampai gambar 5.22 yang menunjukan hubungan beban dan regangan pada struktur rangka atap. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa respon struktur lebih condong ke sisi tumpuan roll sedangkan SAP2000 hanya mampu menganalisis ketika struktur sempurna. Hal ini dapat dibuktikan pada gambar 5.26 dan gambar 5.32 terlihat pada awal pembebaban grafik P-Delta hasil SAP2000 cukup dekat dengan hasil uji lab setelah beban tertentu lendutan rangka atap lebih tinggi karena ketidaksimetrisan respon struktur rangka atap. Selain itu penyebab tidak akuratnya hasil prediksi kuat tekan rangka atap DAM SAP2000

pada rangka atap variasi 1 baut sambungan dikarenakan pada pengujian di laboratorium diberikan cover sepatu pada sendi sehingga memberikan suatu efek jepit, maka dari itu rangka atap dapat menahan beban lebih besar. Cover sepatu pada pengujian kuat tekan rangka atap dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 5.39 Cover Sepatu Pada Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil studi eksperimental struktur rangka atap SHS dapat diperoleh kesimpulan, yaitu.

1. Tingkat akurasi metode DAM pada struktur rangka atap SHS kelangsingan tinggi dengan pelat ganda pada variasi 1 baut sambungan memiliki angka *error* sebesar 27%. Sedangkan pada variasi 3 baut sambungan memiliki angka error sebesar -3,85%.
2. Pengaruh jumlah baut terhadap akurasi metode DAM meningkatkan tingkat akurasi yang dibuktikan dengan rangka atap variasi 3 baut memiliki angka error yang lebih akurat dibandingkan variasi 1 baut.
3. Metode ELM lebih akurat pada rangka atap variasi 1 baut sambungan dan metode DAM lebih akurat pada variasi 3 baut sambungan pada struktur rangka atap SHS kelangsingan tinggi dengan pelat sambung ganda.

6.2 Saran

Terdapat saran dari penulis yang perlu untuk hasil penelitian yang lebih baik yaitu sebagai berikut ini.

1. Saat membeli sebuah profil baja SHS sebagai bahan uji perlu dilakukan pengecekan ulang di tempat untuk memastikan spesifikasi profil baja sesuai dengan yang diajukan oleh penjual.
2. Pada saat perakitan rangka atap di jasa las harus lebih diawasi agar tidak terjadi kesalahan pada saat pembuatan rangka atap dan sesuai dengan rencana awal.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi profil baja dan variasi bentuk sambungan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002. BSN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729-2020. BSN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 03-1729-2015. BSN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1998. Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam SNI 07-0371-1998. BSN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1989. Cara Uji Mekanis Mur & Baut SNI 06-0571-1989 ICS. BSN. Jakarta.

AISC.(2010). "An American National Standard ANSI/AISC 360-10 : Load Specification for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois

Dewobroto, W., (2014) : "Rekayasa Komputer dalam Analisis dan Desain Struktur Baja Studi Kasus Direct Analysis Method (AISC 2010)", Seminar dan Lokakarya Rekayasa Struktur, Universitas Kristen Petra.

Dewobroto, W.. 2015. Struktur Baja – Perilaku, Analisis, & Desain – AISC 2010. Lumina Press. Jakarta.

Ivanfebraja, Teruna, DR., (2012) : "Kajian Stress Ratio pada Analysis Method dan Effective Length Method Sesuai dengan AISC 2010". Jurnal, Universitas Sumatera Utara.

Dewobroto Wiryanto., (2019) : "Era Baru Perancangan Struktur Baja Berbasis Komputer Memakai *Direct Analysis Method* (AISC 2010)" Jurnal, Universitas Pelita Harapan.

Ma'ruf, Amin., (2021) :"*Comparative Study of Direct Analysis Method and Effective Length Method on Structural Steel Piperack Using* STAAD Pro V8i Software". Jurnal. Mercubuana *University.*

Madhuri, S. (2017) : "*Comparison Study of Effective Length Method (ELM) and Direct Analysis Method (DAM) for Piperack*". Jurnal. *Department of Civil Engineering, M.S. Bidve Engineering College* Latur, Maharashtra , India.

Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019). Studi Perbandingan *Stress Ratio* Pada Portal Baja Menggunakan *Bracing* Dengan *Effective Length Method (ELM)* dan *Direct Analisys Method (DAM).*

LAMPIRAN

Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium

Nomor : 60/Ka. Prodi/20/PSTS/III/2022
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada Yth:
Koordinator Laboratorium
Jurusan Teknik Sipil FTSP
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	**Taufiq Wahyu Hidayat**
NIM	:	**18511206**
Program Studi	:	**Teknik Sipil**
Dosen pembimbing TA	:	**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**
Judul Tugas Akhir	:	**Studi Eksperimental Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan**

Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Mengetahui
Kepala Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

Yogyakarta, 9 Maret 2022
Pemohon

Taufiq Wahyu Hidayat
NIM: 18511206

Menyetujui	Menyetujui	Menyetujui
Koordinator Laboratorium	Dosen Pembimbing Tugas Akhir	Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT)
Ir. Bambang Solistiono, MSCE	Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.	Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Catatan:
Kepala laboratorium Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng. menyetujui permohonan mahasiswa untuk melakukan pengujian dalam rangka penyelesaian tugas akhir untuk **Properties Materian dan atau pembuatan sampel pada tanggal 10 – 25 Maret 2022**

Lampiran A.2 Lanjutan Surat Izin Pemakaian Laboratorium

Nomor : 61/Ka. Prodi/20/PSTS/III/2022
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada Yth:
Ketua Tim Satgas Covid 19
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	**Taufiq Wahyu Hidayat**
NIM	:	**18511206**
Program Studi	:	**Teknik Sipil**
Dosen pembimbing TA	:	**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**
Judul Tugas Akhir	:	**Studi Eksperimental Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan**

Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan ijin untuk memasuki lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 9 Maret 2021
Pemohon

Taufiq Wahyu Hidayat
NIM: 18511206

Menyetujui
Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

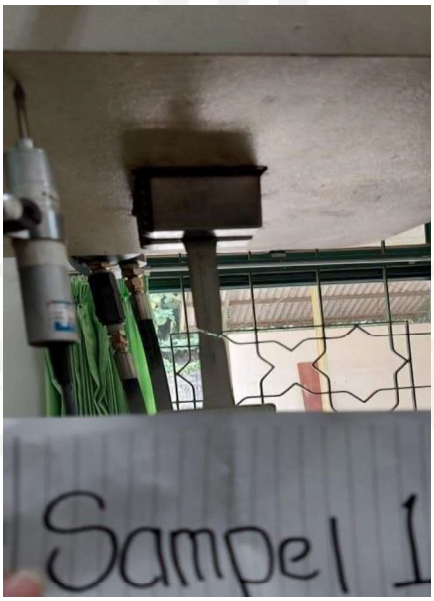
Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

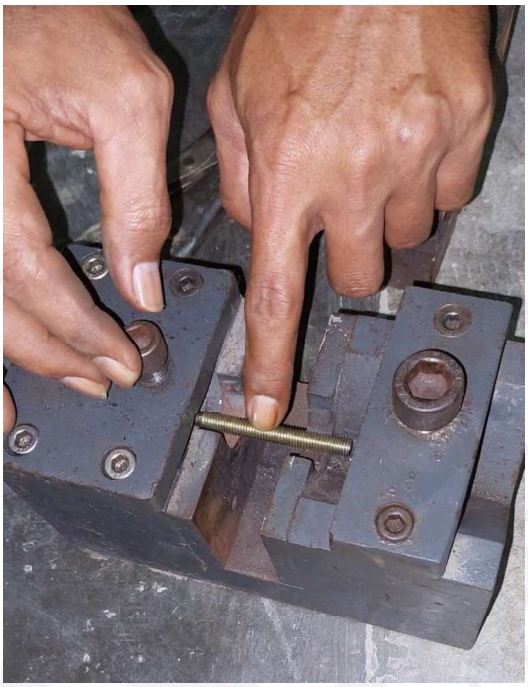
Lampiran:
1. Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT)

Lampiran A.3 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja

Lampiran A.4 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik

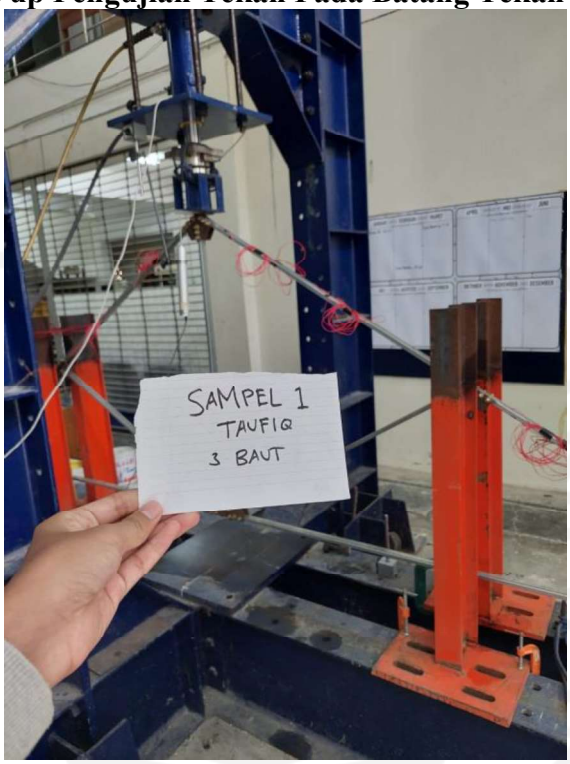


Lampiran A.5 Persiapan Pengujian Geser Baut



Lampiran A.6 Set up Uji Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Lampiran A.7 Set up Pengujian Tekan Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut



Lampiran A.8 Kondisi Rangka Atap Setelah Dilakukan Pengujian Tekan

Lampiran B.1 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti	: Taufiq Wahyu Hidayat
NIM	: 18511206
Judul Penelitian	: Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal	: 19 April 2022
Sampel	: Rangka Atap Variasi 1 Baut sambungan

Grafik Hubungan P-Delta

Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

Lampiran B.2 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut

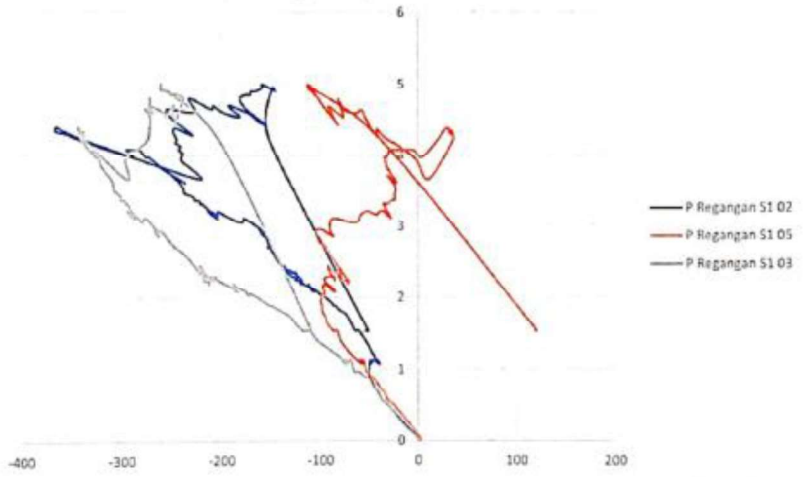
Sambungan Sampel 1

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti	: Taufiq Wahyu Hidayat
NIM	: 18511206
Judul Penelitian	: Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal	: 19 April 2022
Sampel	: Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 1

Grafik P Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 1



Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut

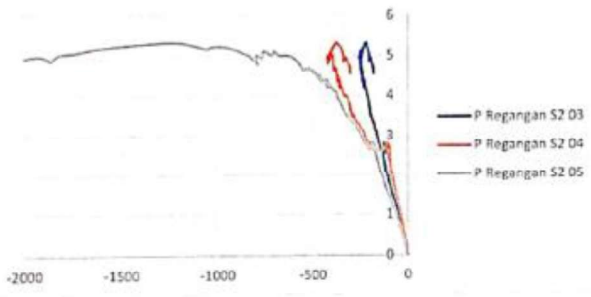
Sambungan Sampel 2

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti	: Taufiq Wahyu Hidayat
NIM	: 18511206
Judul Penelitian	: Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal	: 19 April 2022
Sampel	: Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 2

Grafik P Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 2



Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

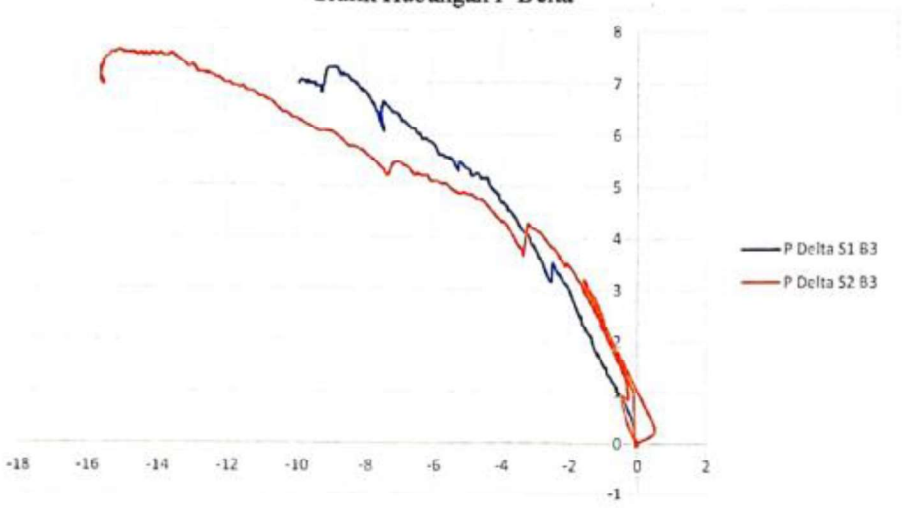
Lampiran B.4 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti	: Taufiq Wahyu Hidayat
NIM	: 18511206
Judul Penelitian	: Studi Eksperimental Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal	: 19 Mei 2022
Sampel	: Rangka Atap Variasi 3 Baut sambungan

Grafik Hubungan P-Delta



Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

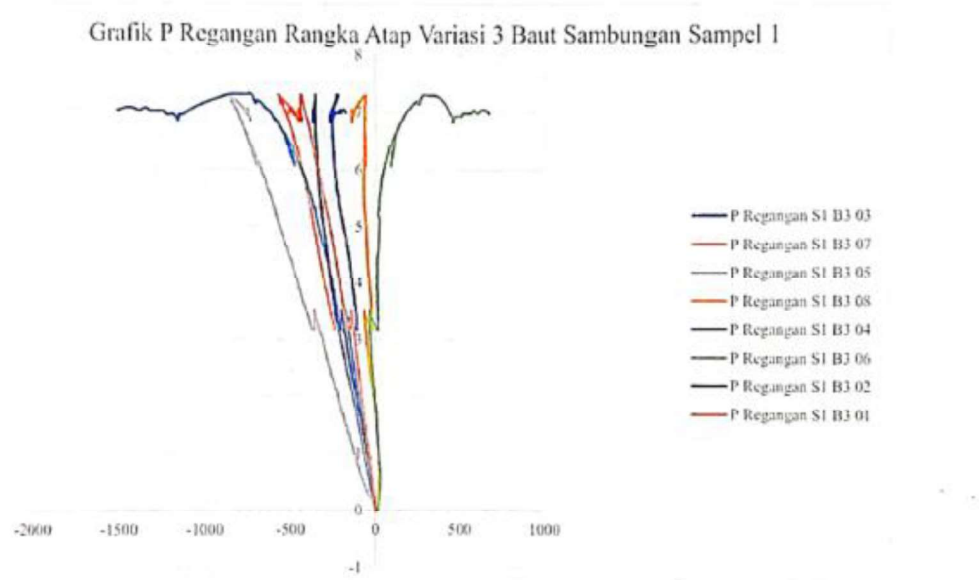
Lampiran B.5 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut

Sambungan Sampel 1

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti	: Taufiq Wahyu Hidayat
NIM	: 18511206
Judul Penelitian	: Studi Eksperimental Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal	: 19 Mei 2022
Sampel	: Rangka Atap Variasi 3 Baut sambungan Sampel 1



Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa

Hariadi Yuliante, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

Lampiran B.6 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut

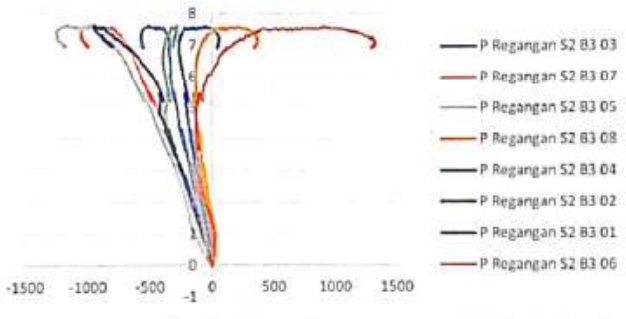
Sambungan Sampel 2

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti	: Taufiq Wahyu Hidayat
NIM	: 18511206
Judul Penelitian	: Studi Eksperimental Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal	: 19 Mei 2022
Sampel	: Rangka Atap Variasi 3 Baut sambungan Sampel 2

Grafik P Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 2



Yogyakarta, 1 Agustus 2022

Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Rekayasa

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.